

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**UM MODELO DE AVALIAÇÃO DO  
PROJETO DE PRODUTO PARA DESMONTAGEM**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA**



0.285.900-3

UFSC-BU



**CONCEIÇÃO GARCIA MARTINS**

Florianópolis, outubro de 1997.

**UM MODELO DE AVALIAÇÃO DO  
PROJETO DE PRODUTO PARA DESMONTAGEM**

**CONCEIÇÃO GARCIA MARTINS**

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A  
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE**

**MESTRE EM ENGENHARIA**

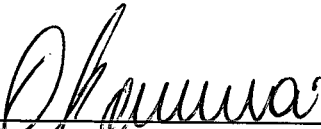
**ESPECIALIDADE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO  
ENGENHARIA DE PRODUTO E PROCESSO, APROVADA EM SUA FORMA FINAL  
PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**



---

**Ricardo Miranda Barcia, PhD.**  
Coordenador

**Banca Examinadora**



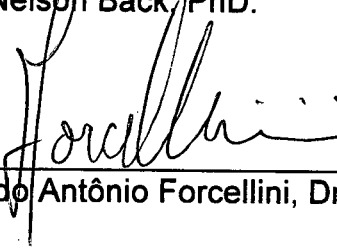
---

**Osmar Possamai, Dr.**  
Orientador



---

**Nelson Back, PhD.**



---

**Fernando Antônio Forcellini, Dr.**

*“Ainda que eu falasse as línguas  
dos homens e dos anjos,  
e não tivesse amor, nada seria.”*

I Cor 13, 1-2

*Para meus Pais  
Para Marcelo, Patrícia e Larissa*

## AGRADECIMENTOS

- A Deus pela energia fornecida para a realização deste trabalho;
- À Universidade Federal de Santa Catarina que permitiu a realização deste trabalho;
- À Escola Técnica Federal de Santa Catarina pela oportunidade de realização deste trabalho;
- À Fundação do Ensino Técnico de Santa Catarina pelo apoio na execução deste trabalho;
- Ao Prof. Osmar Possamai pela orientação prestada;
- Aos Profs. Nelson Back e Fernando Forcellini pela atenção dispensada ao trabalho;
- À Marinês Pinho Tramontin pela colaboração na programação do *software*;
- A Fernando Pereira e Gustavo Sambaquy pela execução dos desenhos e colaboração na execução dos ensaios;
- A todos os professores que ao longo de toda a vida estudantil, contribuíram para a minha formação;
- A Marcelo, Patrícia e Larissa pelo carinho e pela paciência que tiveram, para que eu pudesse realizar este trabalho;
- Aos meus pais que sempre estiveram presentes em todos os momentos da vida;
- Aos meus tios Bernardo e Marli pelo apoio dado ao longo da vida;
- Aos amigos da ETFSC que me apoiaram e estimularam para que este trabalho fosse realizado;
- Aos amigos que nas horas difíceis, estimularam-me para que o trabalho fosse concluído;
- Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	1
ABSTRACT .....	2
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....	3
CAPÍTULO 2 - O ESTADO DA ARTE .....	8
2.1 - CONCEITO DE CICLO DE VIDA .....	12
2.1.1 - Análise do Ciclo de Vida.....	14
2.2 - PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE (PPMA) .....	16
2.3 - PROJETO PARA RECICLAGEM (PPR).....	21
2.4 - PROJETO PARA DESMONTAGEM.....	26
2.5. NORMALIZAÇÃO INTERNACIONAL .....	37
CAPÍTULO 3 - FERRAMENTAS A SEREM UTILIZADAS NO DESENVOLVIMENTO DO MODELO .....	43
3.1- REQUISITOS DO MODELO.....	44
3.2 - SISTEMAS DE PROJETO AUXILIADO POR COMPUTADOR (CAD) .....	46
3.2.1 - Desenvolvimento de Projetos em Sistemas CAD .....	46
3.3 - GERENCIAMENTO DE INFORMAÇÕES EM BANCO DE DADOS .....	48
3.3.1 - Modelos de Organização de Dados .....	49
3.4. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO .....	51
CAPÍTULO 4 - DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE AVALIAÇÃO.....	54
DO PROJETO DE PRODUTO PARA DESMONTAGEM .....	54
4.1- DESCRIÇÃO DO MODELO .....	54
4.1.1 - Informações Necessárias para Aplicação do Modelo.....	56
4.1.2 - Saídas do Modelo .....	56

4.2 - LEVANTAMENTO DOS PRINCÍPIOS DE PROJETO PARA DESMONTAGEM .....	57
4.3 - FORMULAÇÃO DO MODELO .....	59
4.3.1 - Índice de Desmontagem (ID) .....	60
4.3.2 - Estimativa do Custo de Desmontagem .....	65
4.3.3 - Estimativa do Custo de Reciclagem .....	67
4.3.4 - Outras Informações Fornecidas pelo Modelo .....	68
4.4 - ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS .....	70
4.4.1 - Incorporação das Informações à Base de Dados .....	75
4.5 - ESTRUTURAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO .....	80
 CAPÍTULO 5 - APLICAÇÃO DO MODELO .....	 87
5.1 - SELEÇÃO DO PROJETO EXEMPLO .....	87
5.2 - AVALIAÇÃO DO PRODUTO A .....	87
5.3 - AVALIAÇÃO DO PRODUTO B .....	92
5.3 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS .....	96
 CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	 98
6.1 - VALIDADE DO MODELO .....	98
6.2 - RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....	100
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	 101
 BIBLIOGRAFIA .....	 104

## RESUMO

A atividade industrial tem uma influência grande na ameaça do desequilíbrio ambiental, devendo portanto buscar alternativas para a ecologia industrial, uma vez que se deseja continuar crescendo, mas de maneira sustentável.

Em um novo modelo industrial, o fator ecológico será aliado ao fatores tecnológico e econômico. Nesse novo modelo as estratégias empresariais equilibrariam estes três fatores para manter e conquistar novos mercados. O novo paradigma industrial prima pela utilização de processos de produção e produtos ambientalmente corretos

A atividade de projeto de produto, colocada no início do processo tem influência marcante sobre todo o ciclo de vida do produto. Desta forma, é nesta etapa que devem ser buscadas soluções para o desenvolvimento de produtos ecologicamente corretos, que já contemplem soluções para o fim de vida do produto, prevendo a reutilização, recuperação e reciclagem do produto e/ou de suas partes.

Entende-se assim, a necessidade de desmontagem do produto no final de sua vida útil, para que possam ser viabilizadas as alternativas de reutilização, recuperação e/ou reciclagem do mesmo.

Este trabalho, apresenta os princípios de projeto para desmontagem e propõe um modelo de avaliação do projeto de produto sob o aspecto da desmontagem, objetivando a facilidade de desmontagem do produto no final da sua vida útil. Para facilidade de aplicação do modelo, o mesmo foi transformado em um *software*.

## **ABSTRACT**

The industrial activity has had a great influence on threatening the environmental balance, therefore it must search for alternatives for the industrial ecology, since we wish it keeps on growing, aiming at reaching sustainability though.

In a new industrial model, the ecological factor will be allied to the economical and technological factors. According to it business strategies would balance these three factors to maintain an congruer new markets. The new industrial paradigm cares for environmentally correct production processes and products.

The product design activity, established in the beginning of the process has a great influence on the product life cycle. Therefore, it is at this stage that solutions for the development of environmentally correct products must be found, those wich contemplate solutions for the product lyfe cycle end, predicting the reutilizing, recovering and recycling of the products and/or of its parts.

Therefore, disassembling the product before it is worn out seems to be necessary so that reutilizing, recovering, and recycling alternatives for the product become viable.

This study presents disassembly design rules and proposes an evaluation model of the product design as to its disassembly at the end of its useful life cycle. It is presented as a software, so that its application becomes easier for users.



## **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

O mundo passa constantemente por transformações. O nosso planeta é um ser mutante. O homem é o maior responsável por todas as transformações, pois está sempre buscando maneiras de tornar o planeta mais adequado às suas necessidades.

Desde o aparecimento da espécie humana, o homem busca meios de transformação: moldando o barro construiu utensílios domésticos; lascando a pedra inventou a roda; tecendo a lã produziu o tecido. Migrando de um lugar para outro em busca de melhores condições de sobrevivência.

Passada esta fase, apareceram as civilizações. Surgiram a escrita, o papel, a imprensa. O homem aprendeu a manusear os metais para produzir utensílios.

Na era moderna, foram inventados: a máquina a vapor (1769), o motor e o gerador elétrico (1821), a primeira perfuração de poço de petróleo (1859), a construção do primeiro metrô (1863), o automóvel (1885), o refrigerador (1910), a televisão (1939), o computador (1960), entre milhares de outros produtos e serviços. Todos visando proporcionar melhores condições de vida ao ser humano.

O homem passou por todos estes estágios com pouca, ou nenhuma, preocupação com a sustentabilidade do planeta, acordando para o fato entre os anos 70 e 80. Aumentou a preocupação quando em 1987, verificou-se que a população mundial atingiu a casa dos cinco bilhões de pessoas e que as previsões apontavam para doze bilhões de pessoas por volta de 2030, Alting e Jorgensen [1]. Também foram feitas as constatações sobre o buraco na camada de ozônio produzido pelo uso do CFC (Cloro Flúor Carbono).

Ao deparar-se com o problema do crescimento populacional e o esgotamento dos recursos naturais, o homem percebeu a necessidade de buscar mecanismos para o equilíbrio do meio ambiente.

Surgiram então as seguintes questões:

- Como produzir bens para atender um número tão elevado de pessoas?
- Qual a disposição de recursos naturais não renováveis?

- Quais saídas devem ser buscadas para associar crescimento populacional e desenvolvimento sustentável?

A partir destas constatações surgem novos conceitos e novas enfoques para a questão industrial.

“O enfoque ecologista é produto de uma crítica profunda da dinâmica da sociedade industrial nos últimos dois séculos, e está baseado num sistema de valores pós-materialista que concebe o desenvolvimento humano como uma combinação harmoniosa do desenvolvimento material (para fora) e espiritual (para dentro). Tal perspectiva considera que os recursos naturais e a capacidade de absorção da poluição da biosfera são finitos; supõe que o desenvolvimento tecnológico tem um caráter contraditório (simultaneamente positivo e negativo) e que a humanidade deve preferir tecnologias brandas e de baixo impacto ambiental, orientando-se sempre pela prudência no que se refere ao desenvolvimento tecnológico; e valoriza a eficiência na gestão social”[2]

“O desenvolvimento sustentável implica no crescimento direcionado à satisfação das necessidades humanas básicas, usando tecnologias e matérias-primas de maneira que garantam que os recursos naturais continuarão disponíveis para o usufruto e a produtividade das gerações futuras. O desenvolvimento sustentável envolve a confiança na ciência e na tecnologia, que continuarão a encontrar novos usos para recursos conhecidos; a descobrir novos recursos na riqueza genética não-catalogada das florestas, oceanos, pântanos, rios, montanhas e planícies da região; e a desenvolver técnicas para manutenção e reprodução destes recursos. O desenvolvimento sustentável requer uma cultura política democrática na qual as idéias diversas possam surgir e competir umas com as outras, refinando a capacidade humana para lidar com os problemas de recursos. Esta cultura política irá florescer na medida em que indivíduos participem nas decisões que afetam suas vidas.” [3]

Vive-se uma época em que a preocupação ambiental é emergente, onde se busca conciliar o bem estar do homem e sua relação com o meio ambiente.

A atividade industrial, com a área de projeto de produto colocada no extremo inicial, está sempre buscando novas maneiras de satisfazer as necessidades do consumidor, resumindo isso na forma de um produto. Até pouco

tempo, pouca preocupação havia com os efeitos que estes produtos produziram ao meio ambiente, ressaltando fundamentalmente a questão funcional do produto. Para tanto, foram desenvolvidas especialidades.

A exemplo dos vários enfoques de projeto pode-se citar:

- Projeto para Manufatura;
- Projeto para Montagem;
- Projeto para Confiabilidade;
- Projeto para Manutenção;
- Projeto para Testes, entre outros.

Além de novas formas de conduzir o processo de projeto, onde aparece a Engenharia Simultânea/Concorrente buscando compartilhar o projeto de produto entre os vários setores da empresa com vantagens já conhecidas. Busca-se hoje, dentro das metodologias de projeto de produto conciliar todas as fases do ciclo de vida do produto ao meio ambiente, ou seja, Projeto para o Meio ambiente, com as ramificações pertinentes: Projeto para Reciclagem e Projeto para Desmontagem.

Esta nova visão de projeto trará a longo e médio prazos, grandes benefícios, mas enquanto isso não acontece com a maioria dos bens duráveis, torna-se necessário que se tenha ferramentas e metodologias que possibilitem uma utilização do produto após o final de sua vida, ou que esta vida não acabe.

Do ponto de vista ambiental cada produto é um problema, pois cada produto projetado/produzido consome recursos naturais e emite resíduos para o ambiente. O objetivo do crescimento sustentável é reduzir/eliminar o prejuízo ao ecossistema.

Um dos principais problemas aparece no final da vida útil do produto, pois ao ser descartado, e se não se tem formas de reutilização ou reciclagem previstos para o produto ou para as partes que o constituem, tudo se transformará em lixo.

O manuseio do lixo na sociedade atual é uma questão bastante complexa, pois demanda espaço e custos elevados, além da geração de inúmeros problemas ambientais.

Projetar e produzir produtos sem a preocupação com o seu descarte,

não é mais possível atualmente.

Deve-se então buscar maneiras de reduzir os danos causados ao meio ambiente e a reutilização, recuperação reciclagem dos produtos representam soluções viáveis para o desenvolvimento sustentável pois reduzirão o consumo de materiais e energia.

Dentro dessa perspectiva o Projeto para Desmontagem apresenta-se como uma ferramenta de operacionalização bastante relevante na busca da ecologia industrial, já que permite que os produtos sejam recuperados, reutilizados e/ou reciclados.

Para que Projeto para Desmontagem seja eficaz deve buscar:

- o estabelecimento dos princípios de projeto;
- a classificação dos elementos de união;
- a geração de um banco de dados para esses elementos;
- análise do projeto quanto a desmontagem e também;
- uma metodologia de desmontagem para produtos que não foram projetados para serem desmontados.

Este trabalho terá como objetivo maior desenvolver uma ferramenta que permita a avaliação do projeto de produto, com relação à desmontagem do mesmo, após sua primeira vida útil, de forma que se possa selecionar alternativas de projeto pelos índices de desmontagem que apresentam. Para isso o trabalho está estruturado da seguinte forma:

No Capítulo 2, deste trabalho, são apresentados as premissas e modelos desenvolvidos por vários autores na busca do desenvolvimento sustentável, passando pelo Projeto para o Meio Ambiente, Projeto para a Reciclagem e Projeto para Desmontagem e questões relacionadas à normalização internacional.

No Capítulo 3, estão descritas as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento do modelo proposto.

Nos Capítulos 4 e 5 são apresentados respectivamente, o desenvolvimento do modelo proposto de Projeto para Desmontagem e um exemplo de aplicação.

No Capítulo 6 estão a conclusão desse trabalho e as recomendações para os próximos trabalhos.

## **CAPÍTULO 2 - O ESTADO DA ARTE**

A ecologia industrial tem uma forte influência na busca do desenvolvimento sustentável, o que implica numa mudança dos padrões até então usados nos processos empresariais que vão desde definição de estratégias, ao descarte do produto.

A busca do desenvolvimento sustentável no setor empresarial não é apenas uma questão relacionada a projeto de produto, mas implica numa mudança geral dos conceitos empresariais.

Tipnis [4] e [5] apresenta um modelo que prega a mudança geral no contexto empresarial, levantando a seguinte questão: "Quais as causas do grave problema de poluição que enfrentamos?". E responde a questão observando três principais direções:

- a explosão da população mundial;
- o crescimento das atividades industriais e agrícolas, impulsionadas pelo aumento de demanda por produtos industriais e alimentos, acompanhados de uma retração do ecossistema; e
- a incapacidade de controlar os efeitos nocivos causados pelo consumo de materiais e combustíveis fósseis.

Existem vários cenários para estas questões, que variam do colapso à sustentabilidade.

Tipnis [4] e [5] coloca a sustentabilidade como uma questão técnica e economicamente viável, entretanto a transição para ela requer um cuidadoso balanceamento de curto e longo prazos de metas que priorizem igualdade e qualidade de vida para todos.

O progresso da humanidade acontece por mudanças de paradigmas, na fabricação isso não é exceção. A evolução dos processos de manufatura e tecnologias de produção pode ser traçada pelas distintas épocas, cada uma envolvendo uma radical mudança na maneira de condução da manufatura. Hoje o paradigma é o do desenvolvimento sustentável e desta forma as estratégias empresariais devem convergir para este ponto.

As mudanças de paradigmas no sistema produtivo podem ser observadas na tabela 2.1, que são: o número de máquinas, a variedade de partes, a proporção do *staff* por linha de trabalhadores, a soma de retrabalho, mudando drasticamente da produção artesanal para o Sistema Inglês (máquinas ferramentas), para o Sistema Americano (intercambialidade), para Sistema Taylor (estudo de tempos e movimentos) para a produção em massa de Ford, para o Sistema Dinâmico (controle estatístico de processo), para controle numérico e finalmente para Manufatura Integrada por Computador.

Tabela 2.1 - Evolução da Manufatura. Mudança de Paradigmas. [5]

ITEM	PRODUÇÃO ARTESANAL	SISTEMA INGLÊS	SISTEMA AMERICANO	SISTEMA TAYLOR	SISTEMA DINÂMICO	CONTROLE NUMÉRICO	CIM/FMS	PRODUÇÃO ENXUTA	PRODUÇÃO LIMPA
PERÍODO	<1800	>1800	>1850	>1900	>1950	>1960	>1970	>1960/80	>1990
Número de máquinas	0	3	50	150	150	50	30	20	10
Staff	0	0	20	60	100	50	20	10	10
Supervisores /trabalhadores	6	40	130	240	200	50	10	10	5
Aumento produtividade	1	4	12	36	54	182	486	972	1458
Retrabalho/total de trabalho	1	0.8	0.5	0.25	0.08	0.02	.005	0.0002	0.0002
Número de produtos	1000	500	3	10	15	100	1000	>1000	>1000
Engenharia ETHOS	artístico artesanal	mecânico	manufatura	industrial	qualidade	sistema	conhecimento	qualidade/ satisfação	ecologia/ bom senso
Foco do Processo	design/arte	acurácia	repetibilidade	reproduzibilidade	estabilidade	adaptabilidade	versatilidade	mudança rápida	robustez limpa
Foco do Controle	estético	produção/ função	produção/ conformidade	processo/ conformidade	processo/ capacidade	integrado	processo/ inteligência	meta QC	sistema/ inteligência
Instrumento/ Controle	visual/tato	micrômetro	calibrador passa-não passa	posto de controle	carta de controle	digital/ eletrônico	computadores/ redes	projetado no qc	realidade artificial
Mudança Organizacional	grêmios	quebra dos grêmios	staff/linha	organização funcional	times/ problemas	organização celular	integração/P3	times auto gerenciados	sistemas de integração
Padrão do Trabalho	proprietário	absoluto	relativo	padronização do trabalho	padronização do processo	padronização funcional	padronização da tecnologia	padronização dos produtos	produtos únicos
ETHOS trabalho	expressão da arte	perfeição	satisfação	reprodução	monitoramento	controle	desenvolvimento	JIT/TQC/TQM	prazer de inventar
Habilidade requerida	artística	mecânica	repetitiva	repetitiva	diagnóstico	experimental	aprendizado/ conhecimento	times aprendendo	criatividade/ aprendizado
Controle do Trabalho	proprietário/ produção	inspetor/ produção	supervisão fechada	contingente fechado	contingente livre	sem supervisão	sem supervisão	times capacitados	sem supervisão gerencial
Foco do Produto	costumizado	acurácia	intercambialidade	produção em massa	precisão	complexo	famílias de partes	produtos robustos	produtos verdes
Projeto do Produto	proprietário/ cliente	especificações no desenho	especificações calibração	especificações do processo	especificações SQC/SPC	código CN	código de sequência	código de produto	modelo de produto
Tempo de Mercado	muito longo	longo	longo	longo	longo	curto	curto	muito curto	muito curto
Projeto/ Manufatura	incremental	incremental	seqüência partes	seqüência do processo	seqüência do processo	seqüência do produto	seqüência do sistema	semi-concorrente	toda concorrente

A mudança de paradigma envolve alterações dramáticas e as práticas

de produção tornam-se obsoletas, pois não se adaptam ao novo paradigma.

A figura 2.1 apresenta a relação entre a evolução dos sistemas de manufatura e o aumento da qualidade, produtividade e custo-eficiência.

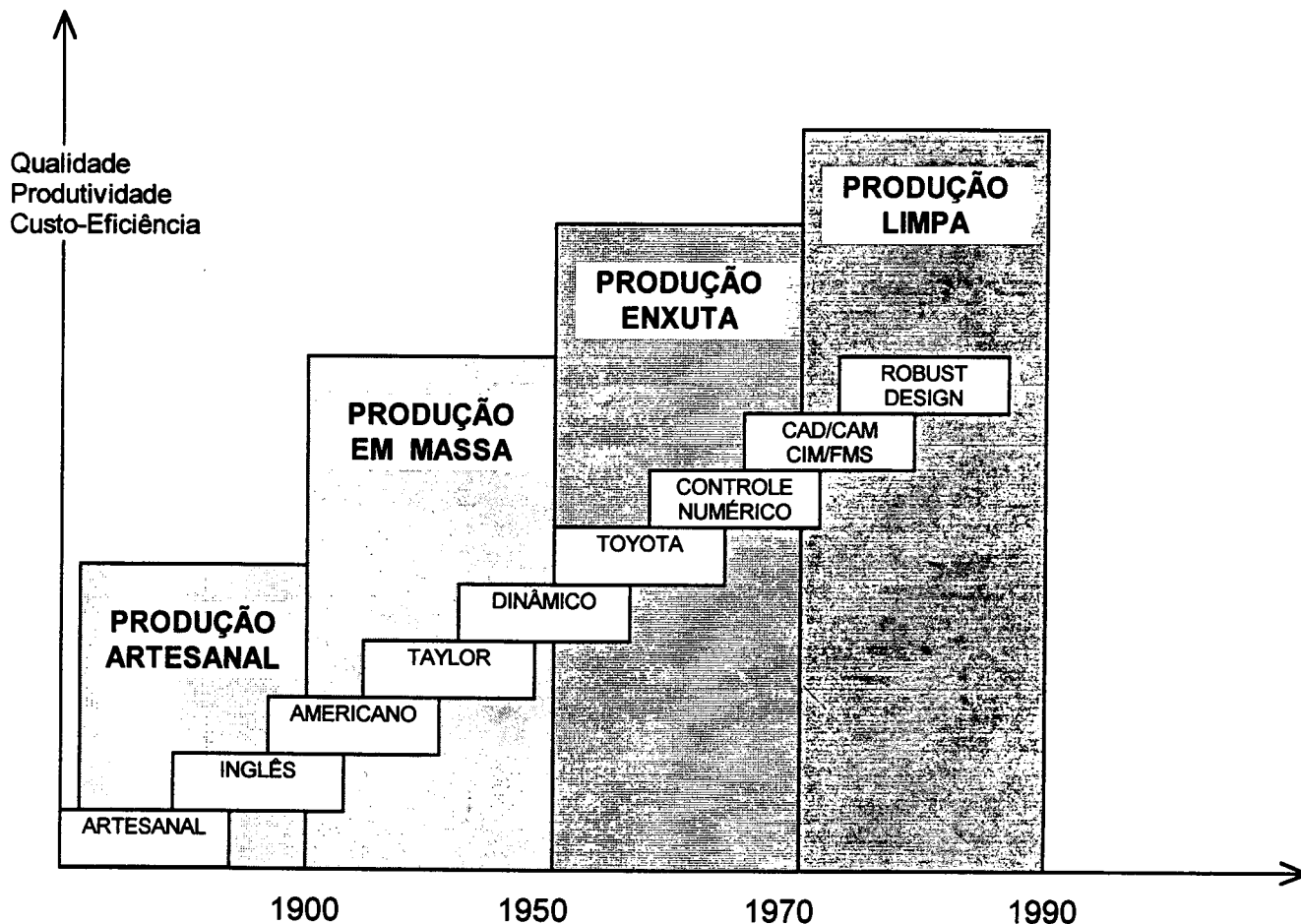


Fig. 2.1 - Evolução dos paradigmas de manufatura. [4]

No novo paradigma, denominado por Paradigma E, busca-se o desenvolvimento de *produtos verdes* e *processos de produção limpa*. Isto significa projetar, manufaturar, usar e dispor produtos de forma ambientalmente segura.

São necessários os seguintes preceitos para adotar o paradigma E:

**Ecologia** (Ecology) - competir na ecologia;

**Meio ambiente** (Environment) - proteger o meio ambiente;

**Energia** (Energy) - minimizar resíduos e desenvolver recursos energéticos limpos;

**Economia** (Economy) - usar menos recursos, produzir mais resultados;

**Capacitação** (Empowering) - capacitar trabalhadores, dar resultados positivos;



**Educação (Education)** - encorajar a educação;

**Excelência (Excellence)** - vencer competindo na ecologia.

São fundamentos para o paradigma E:

– **Produção Enxuta:** JIT/TQC, Sistema Toyota de Produção.

Usar sempre menos: capital, tempo, trabalho, gerência, espaço, inventário e responder mais rapidamente e rapidamente introduzir e produzir produtos que satisfaçam as necessidades do consumidor. Para minimizar o uso de materiais e energia no Paradigma E, a produção enxuta é o ponto de partida;

– **Projeto Robusto de Produtos e Processos**

Reunir especificações como as seguidas pela manufatura tradicional, não garante necessariamente a qualidade, que automaticamente não garante a satisfação do consumidor com o produto. “Quando um produto falha, ele deve ser trocado ou arrumado. Em outro caso, deve ser pego, transportado e deve-se pedir desculpas por isto. As perdas são muito maiores do que o custo de fabricação, ninguém recuperará sua reputação conduzindo a perdas de mercado. ”Taguchi citado por Tipnis [5]. O projeto robusto propicia uma metodologia sistemática para minimizar perdas para o usuário e seus efeitos nocivos, isto também promove uma firme fundamentação para o paradigma E;

– **Desdobramento da Função Qualidade**

Essa metodologia define requisitos do consumidor e as comparações competitivas para determinar especificações funcionais e estéticas. Isto é proveitoso na definição de requisitos da sociedade e proteção ambiental para o paradigma E também.

Para adoção do Paradigma E, Tipnis [4] e [5] coloca como necessário a utilização dos sete passos descritos a seguir:

1. Reformular estratégias da corporação: competir na ecologia;
2. Transformar organizações e operações: eliminar paradigmas obsoletos;

3. Promover freqüentes diálogos com todos na organização para alterar seus pontos de vista;
4. Implementar métodos de Projeto Robusto e Produção Enxuta;
5. Buscar agressivamente alternativas e implementar tecnologias de produtos e serviços ambientalmente seguros;
6. Promover desenvolvimento de tecnologias chaves para produtos e processos. Esses são essenciais para projetar, fabricar e reciclar produtos ambientalmente seguros;
7. Formar alianças estratégicas e cooperação internacional. Tornar-se uma corporação global para resistência competitiva.

Os problemas de poluição industrial e resíduos de materiais e a energia constituem a maior parte dos problemas ambientais globais que são agora urgentes e reais. As catástrofes ecológicas devem ser evitadas. As indústrias têm descoberto que competir na ecologia não é somente bom para o ambiente, mas também para os negócios.

Adequar-se às novas situações é uma necessidade de sobrevivência para as empresas e hoje, com a legislação e normalização ambiental empurrando-as para este objetivo e os consumidores exigindo produtos de qualidade e ambientalmente seguros, torna-se necessário que as empresas tenham a imagem de ecologicamente corretas.

## **2.1 - CONCEITO DE CICLO DE VIDA**

O conceito de empresa ambientalmente correta passa pela análise dos produtos e processos desenvolvidos pela mesma. A análise do ciclo de vida do produto é com certeza uma das ferramentas mais poderosas na medição do índice ecológico da empresa, uma vez que considera todas as cargas ambientais geradas em cada fase do ciclo de vida do produto.

Segundo Boothroyd e Alting [6] “As especificações do produto formam a base para o projeto. A seleção das soluções está baseada em critérios contendo elementos tais como: política da empresa, propriedades do produto, características da fabricação e custos. Normalmente, nem as especificações, nem os critérios contém requisitos ambientais, de saúde ocupacional, utilização de recursos e reciclagem. O custo do descarte está embutido em taxas que não são contabilizadas pelos projetistas”.

Na nova fundamentação é necessário que todas as fases do ciclo de vida (desenvolvimento, produção, distribuição, uso e descarte ou reciclagem), sejam considerados simultaneamente, a partir da fase conceitual até o projeto detalhado. A seleção de soluções técnicas deve ser guiada por critérios contidos no círculo externo da figura 2.2.

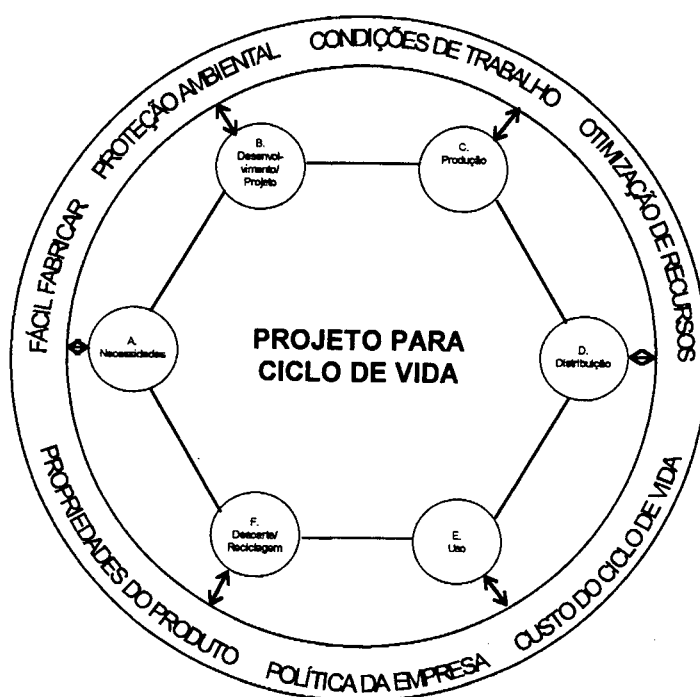


Fig. 2.2 - Conceito de Ciclo de Vida no Projeto.[6]

Para Alting e Jorgensen [1] o conceito de ciclo de vida torna-se a linha mestra para uma nova cultura industrial chamada **produção sustentável**.

Sustentabilidade significa que produtos são projetados para todo o ciclo de vida, ou seja, produção, distribuição, uso e descarte com o mínimo

aceitável de influências ao ambiente, danos à saúde ocupacional e o mínimo uso de recursos (materiais e energia).

O conceito de ciclo de vida implica que produtos são planejados para todas as fases do ciclo de vida (produção, distribuição, uso e descarte) antes de serem produzidos e comercializados.

Na fase de desenvolvimento do produto são avaliados as consequências ambientais, a saúde ocupacional e o consumo de recursos para minimizar o impacto total.

Weule [7] expõe que no passado, as indústrias estavam principalmente interessadas na fabricação de produtos solicitados pelo marketing, onde os aspectos econômicos eram dominantes. Nos últimos anos, aspectos ecológicos estão se tornando tão importantes quanto os econômicos e tecnológicos, gerando um campo de tensão entre os mesmos. Ressalvando que deve-se estabelecer um balanço entre estes três fatores.

Com respeito a futuros desenvolvimentos, é importante que o ciclo entre materiais e consumo de energia, uso e reciclagem de produtos usados ou disposição de resíduos seja implementada pela aplicação de fatores de avaliação estritamente econômicos, tecnológicos e ecológicos.

### **2.1.1 - Análise do Ciclo de Vida**

“Análise do ciclo de vida é a base para avaliação ecológica de produtos, também chamada de **eco-balanço**. Deve-se considerar todos os fluxos de materiais e energia como também as influências de emissões gasosas, líquidas e sólidas geradas por todas as fases do ciclo de vida do produto” Weule [7]. Um exemplo desse princípio está mostrado na figura 2.3.

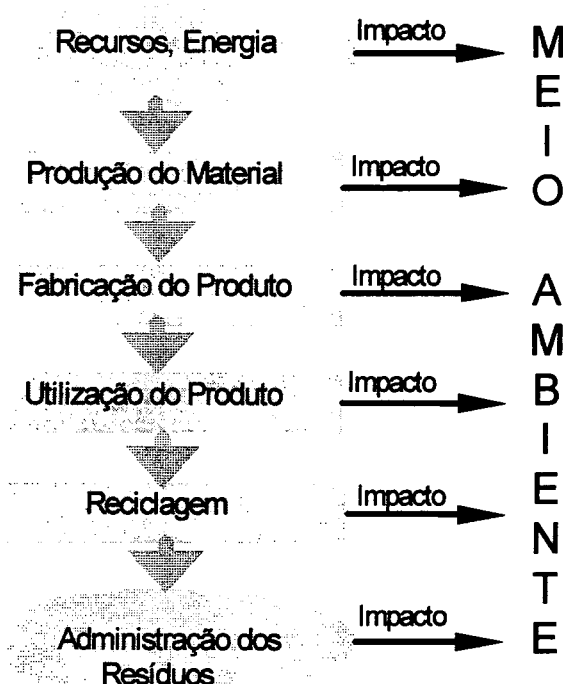


Fig. 2.3 - Princípios da análise do ciclo de vida. [7]

Horst e Zweers [8] colocam que a fundamentação da análise do ciclo de vida está baseada no fato de que todo o uso de matéria-prima, consumo de energia e todas as emissões causadas pelo produto durante todo o ciclo de vida podem ser atribuídos ao próprio produto. Com esta forma clássica a análise do ciclo de vida é alcançada em três fases:

- **a fase do inventário:** dados de todos os processos são estabelecidos em termos de consumo de energia, uso de matérias-primas e emissões produzidas;
- **a fase da classificação:** os dados anteriores são transformados em efeitos ambientais que eles causam, como por exemplo emissões de CO<sub>2</sub>;
- **a fase da avaliação:** nesta fase se obtém a conclusão sobre a relativa ou absoluta poluição ambiental causada pelo produto.

Keldman [9] sugere que os modelos de análise do ciclo de vida dão uma visão detalhada dos processos, entradas e saídas por meio de árvores de processo e diagramas de fluxo para produtos existentes, modelos esses, apenas proveitosos para especialistas ambientais, pois projetistas de produto não tem utilização para este tipo de modelamento.

vez mais multidisciplinar, pois são necessárias várias especialidades de informações para conduzir a um bom produto.

O que se observa como grande dificuldade para a utilização desta ferramenta é a necessidade de se gerar uma base de dados com todos os produtos e subprodutos de cada etapa do processo, uma vez que só conhecendo detalhadamente as emissões de cada fase é que se poderá fazer uma análise criteriosa de cada produto/processo, obtendo dados absolutos e não apenas comparativos.

## **2.2 - PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE (PPMA)**

Dentro da ótica de indústria ecológica, a atividade de projeto de produto tem um efeito bastante significativo para todo o contexto empresarial, pois está colocada no início do processo e as decisões tomadas nesta fase interferirão em todas as fases seguintes do ciclo de vida do produto.

Para Horst e Zweers [8] os produtos desempenham um importante papel no atendimento das necessidades humanas. Entretanto, a sociedade está se tornando vítima da poluição e exaustão de recursos que ela está causando. Em vez de se procurar soluções de fim de linha, apenas paliativas, deve-se desenvolver produtos voltados para o meio ambiente.

O desenvolvimento de produtos ambientalmente corretos refere-se a produtos voltados para a redução da poluição ambiental causada pelo produto. Tomando-se critérios ambientais de avaliação, durante o desenvolvimento de um novo produto, a poluição causada pelos produtos pode ser previamente reduzida.

Para Horst e Zweers [8] projetar para o meio ambiente significa levar em conta os seguintes fatores:

- ciclos de vida fechados para os materiais;
  - extrair a menor quantidade de matéria-prima possível;
  - usar matérias-primas pelo maior número de vezes possível;
    - aumentar o ciclo de vida do produto;
    - reusar partes;

- reciclar materiais;
- indicadores de energia;
- considerar riscos dos resíduos gerados;
- análise econômico-ambiental;
- marketing ambiental;
- legislação ambiental;
- redefinição das necessidades dos consumidores.

Segundo Navin-Chandra [10] alguns dos fatores que empurram as empresas para o Projeto para o Meio-Ambiente são: legislação ambiental, imagem e percepção pública, demanda dos consumidores e aumento do custo de manejo dos resíduos.

Por sua vez, os fatores que levam as empresas para o PPMA são: holismo e simplificação, refabricação e reuso, empenho de materiais e obsolescência escalonada.

Várias ferramentas já estão sendo desenvolvidas no sentido de se projetar produtos ambientalmente corretos.

Bor e Kant [11] apresentam o **Projeto Milion** como uma ferramenta de Projeto para o Meio Ambiente.

No projeto Milion existem duas definições para produtos ambientalmente seguros: a primeira relativa à função do produto durante seu ciclo de vida, a segunda relativa a minimização dos efeitos nocivos do produto ao longo do seu ciclo de vida.

O projeto Milion não se refere a uma nova metodologia de projeto, mas a uma ferramenta a ser integrada no projeto de produto, como pode ser visto na figura 2.4.

A questão central continua sendo a função do produto e como isto pode ser alcançado. “Os produtos não são comprados por suas características ambientais, mas pela qualidade que apresentam em todos os aspectos relevantes” Bor e Kant [11].

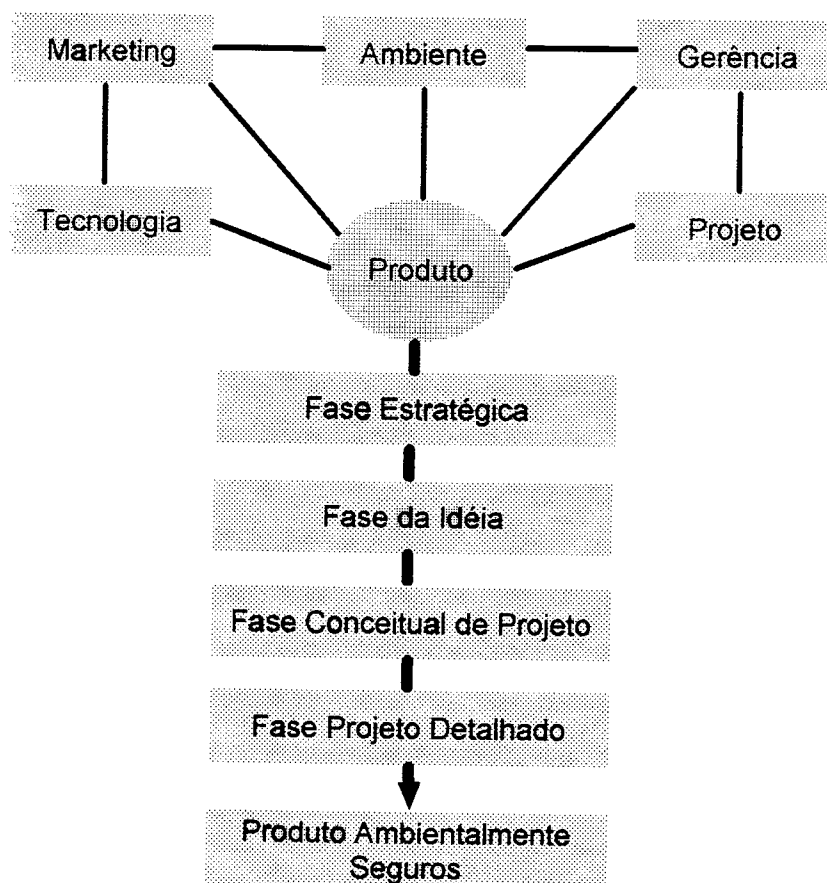


Fig. 2.4 - Plano de fases para desenvolvimento integrado de produtos. [11]

Várias ferramentas e instrumentos têm sido usadas e desenvolvidas para estabelecer a integração de aspectos ambientais no processo de projeto. A distinção pode ser feita entre ferramentas qualitativas para dirigir o processo e instrumentos quantitativos para medições.

#### – Ferramentas qualitativas

- **Projeto para ciclo de vida:** no projeto para o meio ambiente é importante iniciar com o conceito de ciclo de vida nas fases iniciais do processo de projeto;
- **Diretrizes:** as diretrizes têm provido as várias referências que tomam espaço em várias fases, como: produção, o uso de energia, distribuição, reuso e reciclagem. Essa ferramenta qualitativa dá ao usuário uma estrutura básica e *insight* necessários nas fases iniciais do processo de projeto, em geral para influenciar o conceito do projeto. É no nível do



projeto conceitual que os maiores benefícios são alcançados;

- **Produto Referência:** a escolha de um produto a partir do qual os outros da mesma família serão avaliados é importante quando feito para classificar produtos ambientalmente corretos. Uma análise do ciclo de vida de um produto de referência determina as prioridades e direções para o reprojeto do produto. Vários métodos qualitativos e quantitativos têm sido utilizados para encontrar prioridades. São exemplo de prioridades a serem observadas no reprojeto:

- usar menos material;
- usar menos material e processos ambientalmente nocivos;
- usar menos energia em todas as fases do ciclo de vida do produto;
- aumentar o ciclo de vida do produto e as possibilidades de manter e reparar;
- projetar e construir de maneira a estimular a reciclagem e o reuso.

#### – Instrumentos Quantitativos

Durante o processo de projeto, diferentes soluções são geradas desde a fase conceitual até a construção do protótipo. Cada uma destas soluções deve ser analisada em função dos seus possíveis efeitos nocivos ao meio ambiente.

Nas fases iniciais do processo de projeto, as medições dos danos ambientais são superficiais, uma vez que não se dispõe de dados suficientes para uma avaliação precisa.

A medida que se avança no detalhamento de projeto, dados mais precisos são disponibilizados e a medição dos efeitos ambientais do produto torna-se também mais precisa.

No projeto Milion são utilizados a matriz de avaliação do ciclo de vida, juntamente com os *softwares* P-form e Simapro para medir e comparar os efeitos ecológicos de cada solução.

- **Matriz para avaliação do ciclo de vida**

A matriz para avaliação do ciclo de vida é desenvolvida para analisar e

guardar os dados sobre os efeitos ecológicos de um produto durante seu ciclo de vida, como pode ser vista na figura 2.5. Esse instrumento parcialmente qualitativo, dá *insight* no ponto de partida do processo de projeto.

O diálogo entre um especialista ambiental e um projetista, também pode ser melhorado com o auxílio deste instrumento. Quando isto é feito para vários conceitos de um produto, as comparações podem ser feitas para selecionar a melhor solução.

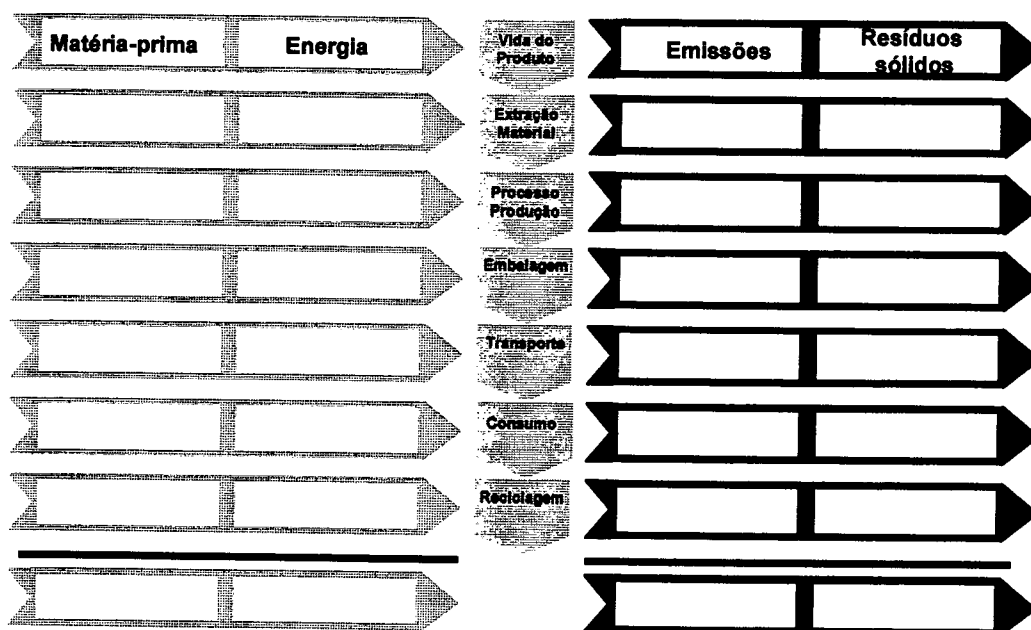


Fig. 2.5 - Matriz de avaliação do ciclo de vida. [11]

- **P-form** - é um *software* que possibilita que os projetistas sejam capazes de fazer uma estimativa geral dos danos ambientais causados, num estágio inicial do processo de projeto. Os índices são dados por unidade de peso de materiais e processos, habilitando para uma rápida visualização durante a fase da idéia;
- **Simapro** - é usado como instrumento mais detalhado e comparando soluções de projeto e efeitos ambientais. Esse *software* é oferecido para o processo de projeto como uma ferramenta para seleção de materiais. Os cinco fatores medidos pelo Simapro são: uso de energia, unidade de poluição do ar, unidade de poluição da água, unidades de acidificação e resíduos sólidos.

No Projeto para o Meio Ambiente torna-se indispensável a avaliação, a

cada passo, das cargas ambientais geradas pelo produto, portanto volta-se a ressaltar a necessidade da formulação da base de dados sobre as cargas ambientais produzidas pelas várias opções do projeto, para fazer a opção por aquele que apresentar as melhores condições ambientais.

## 2.3 - PROJETO PARA RECICLAGEM (PPR)

Nos últimos anos acentuou-se a preocupação com o reaproveitamento dos produtos. Tal fato é fortemente observado no caso das embalagens, onde um grande número delas já possui a classificação do material e indicação de reciclabilidade.

É importante notar que não basta um produto ter indicação de reciclabilidade, é necessário que se tenha mecanismos de coleta e seleção para que o mesmo seja efetivamente reciclado.

No contexto da análise do ciclo de vida, busca-se sempre o ciclo de vida fechado para os materiais, o que não é um objetivo fácil de ser alcançado. O Projeto para Reciclagem apresenta-se como uma ferramenta que busca fechar o ciclo de vida dos materiais.

“No conceito de ecologia industrial, a ciclização dos materiais nos seus maiores níveis possíveis de pureza e utilidade é de suma importância. Essa ciclização só pode ocorrer se os materiais, a partir de produtos que alcançaram o fim de vida, reentrarem no fluxo industrial e forem incorporados a novos produtos.

A eficiência com que a ciclização ocorre é altamente dependente do projeto de produtos e processos, assim, projetar para a reciclagem é um dos aspectos mais importante para a ecologia industrial.” Graedel e Allenby [12]

“Projetistas de produto podem significativamente reduzir custos de fim de vida se considerarem inicialmente os requisitos de fim de vida.

Um produto projetado com base no Projeto para Reciclagem deverá otimizar o valor no seu fim de vida.” Zussman [13]

Kuuvu [14] cita como argumentos básicos e práticos para a reciclagem:

- recursos limitados de matéria-prima;

- crescente consumo, causando aumento de resíduos e resíduos gerando problemas;
- problemas de descarte do produto que contém riscos;
- crescentes despesas para manuseio e disposição do lixo;
- crescimento na exigência ecológica e tendências preferindo “eco-produtos” no mercado;
- legislação nacional e internacional demandando reciclagem e reciclabilidade.

“Especificadas na VDI 2243, as possibilidades de reciclagem diferenciam-se entre:

- **reciclagem pré-consumidor** - recuperação imediata de resíduos e materiais gerados durante a fabricação do produto;
- **reciclagem pós-consumidor** - recuperar materiais depois do uso do produto;
- **reciclagem pelo consumidor** - reusando ou recondicionando o produto após seu primeiro uso.” Beitz [15]

Por sua vez, Ishii [16] define reciclagem, recuperação e reuso da seguinte forma:

- **reciclagem** - é o reuso do resíduo, ou um resíduo derivado do material, utilizado como matéria-prima para produtos que podem ou não serem similares ao original;
- **recuperação** - é o processamento de resíduos que podem ser reciclados;
- **reuso** - refere-se ao uso do resíduo na sua forma original.

Nas definições anteriores, o autor se refere a resíduo como sendo o produto após o fim de sua vida útil.

Beitz [15] propõe que a cada passo do processo de projeto existam tarefas orientadas para o projeto para a reciclagem. Uma representação do modelo proposto por Beitz pode ser verificado na figura 2.6.

Para realçar a reciclabilidade de seus projetos, Burke [17] propõe aos projetistas os seguintes preceitos:

- usar métodos que permitam representar/comunicar informações pertinentes sobre o projeto candidato;

- estimar o custo de reciclagem para o projeto candidato (custo de coleta, identificação, reprocessamento e venda);
- usar métodos para relacionar custos com atributos de projeto candidato: fixação, modularização, seleção de materiais, etc.

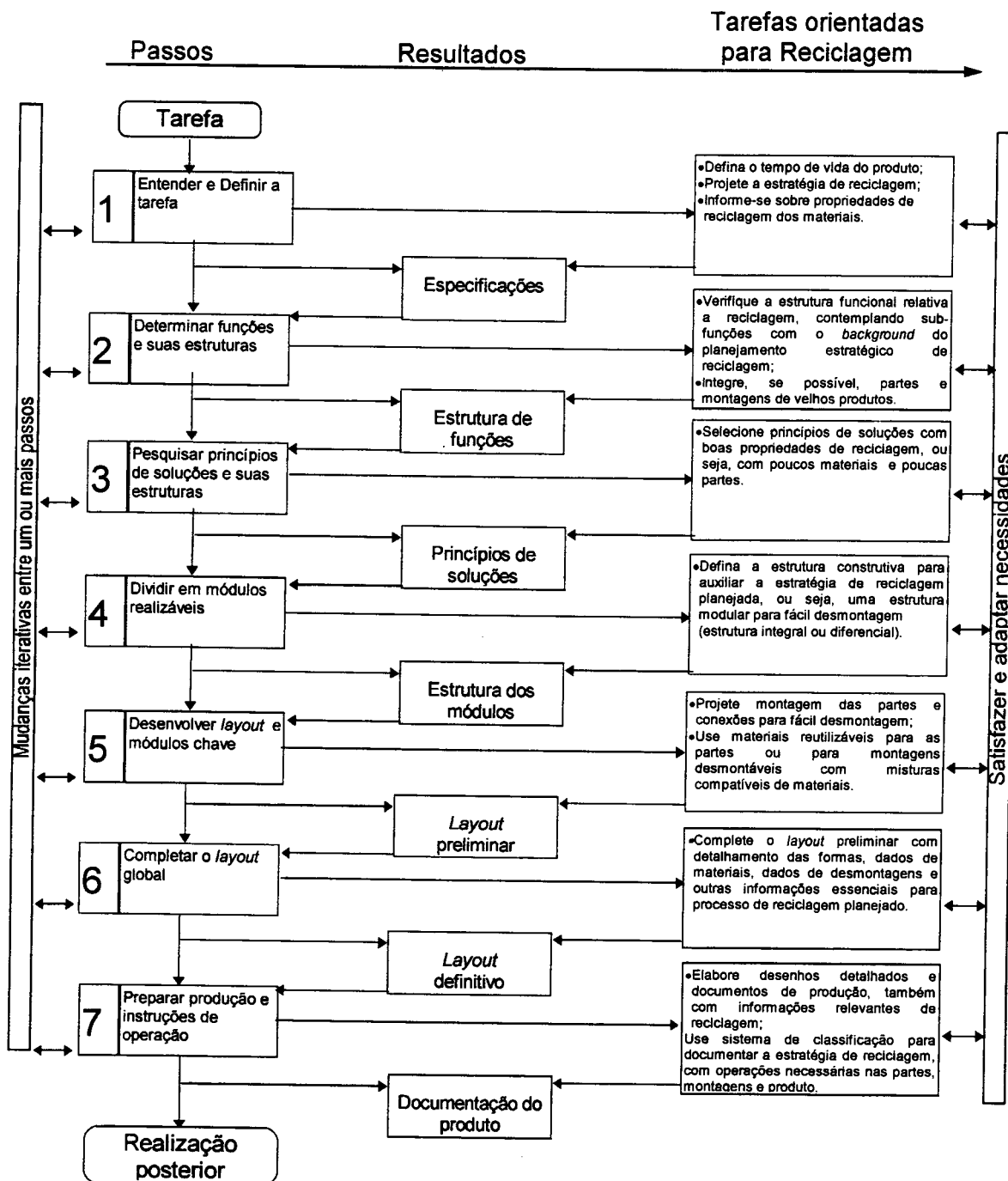


Fig. 2.6 - Passos sistemáticos de Projeto e tarefas de projeto orientado para reciclagem. [15]

A figura 2.7 mostra um esquema da proposta de sistema de avaliação

a ser utilizada no PPR. A maior mudança para a ferramenta é antecipar a estratégia apropriada de reciclagem quando a vida do produto é longa.

O grau com que os componentes de um produto devem ser reusados, reciclados ou dispostos depende fortemente das condições e do tempo. Os fatores incluem:

- avanços na tecnologia de separação, identificação e reprocessamento;
- demanda por materiais reciclados ou para serem reusados;
- disponibilidade de técnicas e meios compatíveis com o meio-ambiente.

Esta proposta de programa solicitará ao usuário para representar o projeto candidato e especificar o plano de recuperação e a meta de mercado para o material reciclado. A partir daí é usado o modelo de custo e referência de projeto baseado em conhecimentos para identificar os custos, relacionar os custos com atributos do projeto candidato e dar sugestões para melhorias.

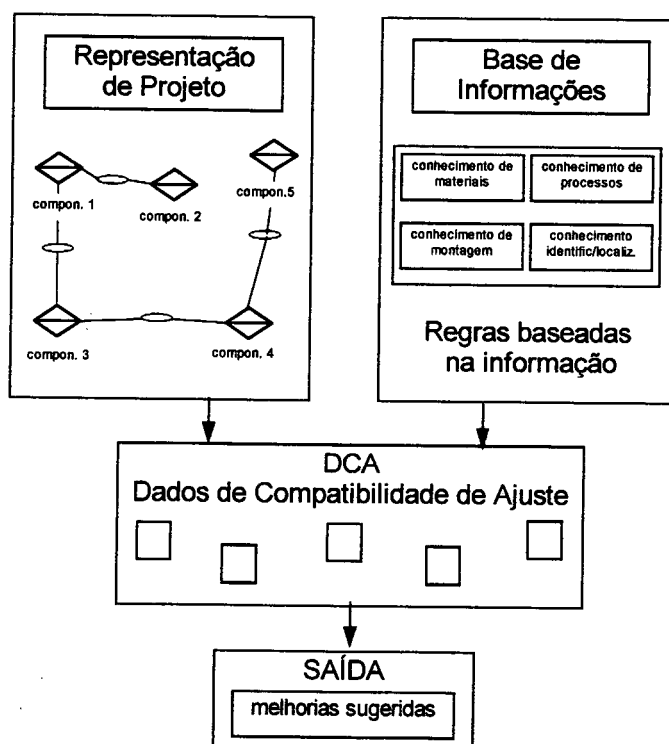


Fig. 2.7 - Esquema da Ferramenta de Projeto para Reciclagem. [17]

Navin-Chandra [10] coloca o problema da reciclagem da seguinte forma: recuperação é como um jogo de xadrez, em geral para alcançar o objetivo deve-se perder algumas peças ao longo do caminho. No processo de recuperação,

a solução ótima representa o compromisso entre custo, tempo e problema ambiental. Não se pode esperar que a melhor estratégia para procedimento com um item descartado, sempre envolva 100% de reciclagem. Por exemplo, algumas vezes gasta-se mais energia para reciclar um produto do que para fazer um novo, neste caso o lixo é opção ambiental mais segura.

No processo de recuperação de um produto, algumas partes podem ser reusadas enquanto outras podem ser recicladas e o resto deve ser incinerado ou depositado em aterro sanitário. Assim, um processo deve representar um balanço que tem de ser atingido entre a soma de emissões, custo de recuperação, uso de energia e o impacto ambiental do aterro sanitário.

O erro, segundo Navin-Chandra, é projetar o produto num caminho em que o balanço é atingido porque todos os critérios são adequadamente dirigidos. Suponha-se que um projeto onde o plano ótimo de reciclagem envolva fazer algumas mínimas desmontagens de algumas partes e depositar o resto em aterro sanitário. Só porque isto é um ótimo plano, não significa que o projeto é bom. O alvo deve ser, fazer mudanças no projeto até que o volume depositado em aterro sanitário seja tão reduzido quanto possível. Por exemplo, em um pára-choques de automóvel estão muitas partes plásticas que tem valor de reciclagem. Mas geralmente o custo de isolamento das partes é maior do que o valor do material. Consequentemente, essas partes acabam sendo perdidas.

No sistema ReStar, criado por Navin-Chandra, busca-se o reprojeto do produto para tornar a reciclagem mais atrativa, ou seja, para atingir um balanço favorável entre aspectos econômicos e o problema de aterro sanitário. Definido o ponto de equilíbrio para um produto, o reprojeto é realizado para mover o ponto de equilíbrio na direção favorável. Isso é chamado **problema de recuperação**.

Neste caso, o **problema de recuperação**, para um dado projeto ou produto, tem o objetivo de encontrar um plano de recuperação que equilibre a soma de esforços a ser utilizada na recuperação e a soma de esforços que é economizado pelo reuso de partes e materiais. Nesta direção, recuperação é um processo alavancado. Um processo que não é alavancado (economia de emissões em relação a um novo produto) não tem valor de procura.

A análise da recuperação pode ser usada para determinar o processo

de recuperação de um determinado produto . Por exemplo 100% de reciclabilidade é uma meta atrativa, mas alcançar esta meta, pode geralmente conduzir ao aumento do uso de energia e inaceitáveis prejuízos financeiros.

O modelo de Navin-Chandra [10] para PPR pressupõe:

- **Representação do Produto e Planejamento de Desmontagem** - O sistema ReStar utiliza qualquer metodologia de desmontagem que produza uma árvore como plano de desmontagem;
- **Otimização da Recuperação** - ReStar é uma ferramenta para CAD (Projeto Auxiliado por Computador). Como entrada são utilizados a descrição do produto e o plano de desmontagem. O programa dispõe de tempos e custos de desmontagem em sua base de dados. Também contém algumas informações sobre energia e emissões.

Para cada operação de desmontagem desempenhada, ReStar mantém o valor de tempo e custo, todas as partes são desmontadas e os resultados são apresentados.

O sistema ReStar está apto a encontrar o caminho ótimo e os pontos de máximo *pay-back* ou o ponto *break-even*. Este sistema é uma ferramenta de análise, pode ser usada para avaliar rapidamente mudanças no projeto, sob o aspecto dos impactos ambientais causados.

## 2.4 - PROJETO PARA DESMONTAGEM

De acordo com o que foi exposto nos itens anteriores, deve-se, na fase de desenvolvimento do produto, buscar alternativas para o pós uso do produto. Soluções como reciclagem, recuperação ou reutilização são as mais recomendadas como meios de proteção ao meio ambiente. Dependendo da complexidade do produto, o mesmo deverá ser desmontado no pós uso para que as soluções citadas sejam possíveis.

Desta forma, torna-se imprescindível que na fase de projeto do produto sejam analisadas as possibilidades de desmontagem, para torná-la viável e



competitiva no pós uso do produto.

Projetar um produto pensando na desmontagem do mesmo pode parecer um aspecto discutível. É importante frisar que em todos os enfoques do projeto, a função do produto sempre está no primeiro plano, é sempre o desempenho da função que tem o maior peso dentro da atividade de projeto, mas sempre que se consegue aliar à função outras características importantes está-se agregando valor ao produto.

Segundo Boothroyd e Alting [5] o interesse no projeto para desmontagem é relevante para seguintes fases do ciclo de vida do produto:

– **distribuição**

- grandes construções ( posição de montagem);
- transporte ( tamanho, peso, embalagem);
- produtos a serem montados pelo usuário;

– **utilização**

manutenção ( reparo, serviço);

– **descarte e reciclagem**

- reuso, refabricação de todo o produto ou de partes;
- reciclagem de materiais.

Nesses casos, pode-se afirmar que sob todos os aspectos, um projeto para desmontagem se insere no contexto de projeto para o meio ambiente, pois quando se mantém um produto evita-se produzir outro para substituí-lo. Da mesma forma, quando partes de um produto são reaproveitadas, elimina-se a necessidade de fabricação de novos elementos, e quando se recicla um produto está se evitando a utilização das reservas de recursos naturais, que são finitas. Um exemplo da previsão de recursos minerais é apresentada na tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Previsão de reservas de materiais.[18]

Material	até o ano
Zinco	2009
Níquel	2019
Molibdênio	2025
Cobre	2026
Chumbo	2027
Estanho	2029
Alumínio	2056
Manganês	2060
Cromo	2084
Vanádio	2086

Jovane [19] apresenta o **problema de desmontagem**, mostrando que um caminho adequado para tratar de produtos para reciclagem deve incluir:

- drenar todos os fluidos componentes (tipicamente para um carro);
- desmontar todos os materiais e componentes que não podem ser recuperados com pureza suficiente depois de fragmentado;
- fragmentar e classificar a fração restante;
- descartar materiais não recicláveis.

Os seguintes benefícios devem derivar dessa prática:

- componentes de alta qualidade podem ser recuperados;
- partes metálicas podem ser melhor separadas, reduzindo a contaminação e aumentando seu valor quando reciclado;
- partes desmontadas feitas de outros materiais (plástico, vidro, madeira, etc.) não se tornarão parte do lixo, reduzindo problemas de disposição, pois podem ser reprocessados.

Jovane [19] também mostra os obstáculos que tornam difícil a desmontagem hoje, de produtos manufaturados, citando como exemplo: a dificuldade de obter todas as informações necessárias para planejar a desmontagem, pois partes do produto podem ter sido modificadas durante reparos e o uso pode tornar elementos de união difíceis de remover. Mas o principal ponto é que muitos produtos não são projetados para fácil desmontagem.

Como resultado, a desmontagem hoje requer trabalhadores hábeis, o que não é economicamente viável para a prática industrial. A figura 2.8 apresenta os principais critérios que devem ser aplicados para seleção de partes e

submontagens a serem recuperados pela desmontagem.

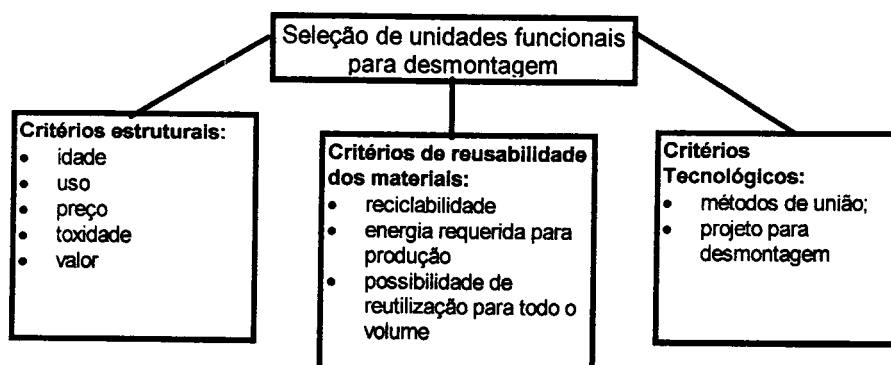


Fig. 2.8 - Critérios de seleção de partes e submontagens para desmontagem. [19]

As técnicas de desmontagem do produto devem ser escolhidas de acordo com a utilização a ser dada no pós uso. Jovane apresenta na tabela 2.3 uma relação entre as técnicas de desmontagem e os objetivos a serem alcançados no pós uso do produto.

Tabela 2.3 - Seleção de Técnicas de Desmontagem. [19]

Categoria de desmontagem	Técnicas de desmontagem para		
	reutilização de submontagens	processamento especial de submontagens	reciclagem de materiais
<b>Desmontagem de um produto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• não destrutiva</li> <li>• parcialmente destrutiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• não destrutiva</li> <li>• parcialmente destrutiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• qualquer</li> </ul>
<b>Desmontagem de unidades de partes removidas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• não destrutiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dependente do processamento especial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• desnecessária</li> </ul>

Jovane [19] apresenta também na tabela 2.4 os benefícios e critérios a serem utilizados no Projeto para Desmontagem.

Tabela 2.4 - Critérios para Projeto para Desmontagem. [19]

<b>Benefícios</b>	<b>Critérios</b>
Menos trabalho de desmontagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combinar elementos</li> <li>• limitar variabilidade de materiais</li> <li>• usar materiais compatíveis</li> <li>• agrupar materiais nocivos em submontagens</li> <li>• prover fácil acesso para materiais nocivos, recicláveis e partes reusáveis</li> </ul>
Prognóstico sobre configuração do produto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar combinação com materiais corrosivos</li> <li>• proteger submontagens contra corrosão</li> </ul>
Fácil desmontagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pontos de drenagem acessíveis</li> <li>• usar parafusos fáceis de remover ou destruir</li> <li>• minimizar número de parafusos</li> <li>• usar o mesmo tipo de parafuso para muitas partes</li> <li>• prover fácil acesso para pontos desunião, quebra ou corte</li> <li>• evitar direções múltiplas e movimentos complexos de desmontagem</li> <li>• colocar elementos montados sobre uma base</li> <li>• evitar insertos de metal em peças de plástico</li> </ul>
Fácil manuseio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminar superfícies passíveis de desgaste;</li> <li>• evitar partes não rígidas</li> <li>• colocar substâncias tóxicas em unidades seladas</li> </ul>
Fácil separação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• evitar acabamentos secundários ( pintura, revestimento, etc)</li> <li>• Prover diferentes marcas ou cores para diferentes materiais separáveis</li> </ul>
Redução da variabilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• usar submontagens e partes padronizadas</li> <li>• minimizar tipos de parafusos</li> </ul>

É importante então, na fase de desenvolvimento do produto avaliar todas as possibilidades de desmontagem do mesmo. Zussman [13] apresenta o gráfico E/OU mostrado na figura 2.9, para definir seqüências de desmontagem de produtos. Para a construção do gráfico E/OU, são utilizadas as possibilidades de desmontagem do produto, partindo do conjunto completo e subdividindo-se o mesmo em seus componentes, observando-se as relações de precedência e adjacências entre os mesmos.

Segundo o autor este gráfico é a ferramenta mais adequada para representar toda a extensão da desmontagem. Os componentes, operações de desmontagem e suas relações de precedência estão incluídas na representação. Isto é importante porque, para diferentes desmontagens, consegue-se estabelecer o caminho ótimo, baseando-se na avaliação de operações de desmontagem e valores dos componentes. É possível ainda, a representação gráfica de todos os caminhos, facilitando a pesquisa e otimização do processo de desmontagem.

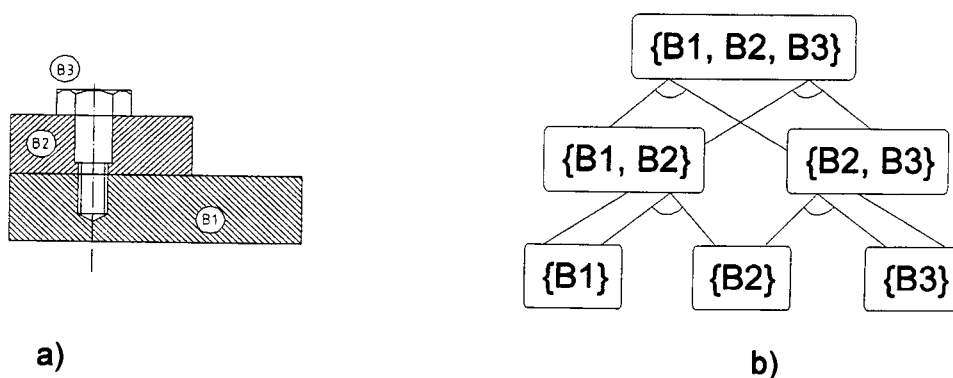


Fig. 2.9 - a) Produto exemplo. b) Gráfico E/OU.[13]

Após a definição de todos os caminhos de desmontagem, deve-se associar a cada caminho as possibilidades de reciclagem, recuperação ou reutilização, transformado o gráfico E/OU no gráfico de recuperação apresentado na figura 2.10. Desta forma consegue-se analisar todas as possibilidades para o pós uso do produto, para cada situação de desmontagem.

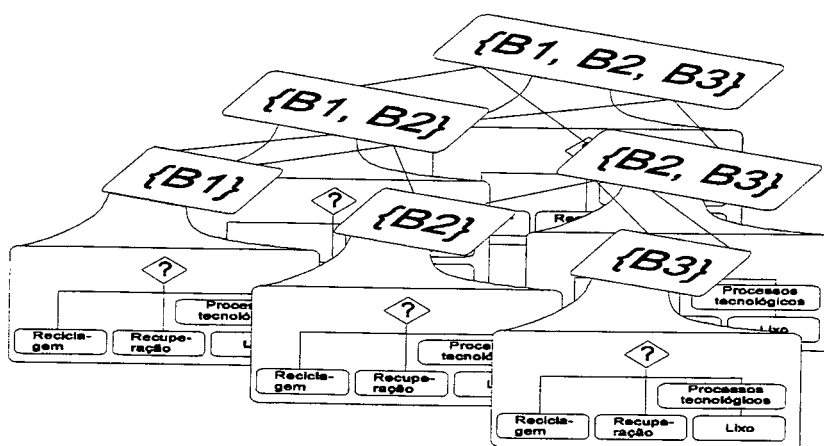


Fig. 2.10 - O Gráfico de Recuperação. Adaptado de Züssman. [13]

Spath [20] apresenta uma ferramenta denominada “Eco-Portifolio Method” que permite uma avaliação quantitativa dos efeitos ambientais produzidos por produtos ao longo do ciclo de vida.

No método de avaliação proposto, as possibilidades de desmontagem do produto e as possibilidades de reciclagem de materiais selecionados são estabelecidos. As alternativas de produtos são avaliadas dentro da estrutura do “Eco-Portifolio Method” pela comparação dos índices calculados.

Os índices utilizados para avaliação são divididos em duas áreas diferentes e são resumidos em um índice de intensidade que considera os seguintes fatores:

- **força do projeto** (Design Force - DF): Características do produto (condutores ambientais) diretamente influenciáveis pelo planejamento do produto com efeito nas possibilidades de desmontagem e reciclagem do produto a ser desenvolvido;
- **força ecológica** (Ecological Force - EF): efeitos ecológicos indiretamente influenciados pelo planejamento do completo ciclo de vida do produto a ser desenvolvido.

O valor do índice DF avalia aquelas características do produto que são influenciadas pelo projetista e que ao mesmo tempo contém o custo de produção das fases de desmontagem do produto e reciclagem do material, assim como a seleção de materiais e os elementos de união usados. O índice EF avalia os efeitos ecológicos no ciclo de vida completo do produto - da produção ao descarte.

Os elementos usados para calcular os índices de avaliação estão mostrados na figura 2.11. Os dados do produto devem estar contidos em um

sistema CAD (Projeto Assistido por Computador), e as informações pertinentes a esses dados, como estrutura do produto e elementos de união, usados no procedimento de avaliação, devem estar contido num banco de dados.

O índice que avalia a força de projeto (DF - Design Force), considera as possibilidades de desmontagem ou a seleção de material considerando os seus requisitos de reciclagem. Para avaliação da desmontagem, a montagem do produto e a estrutura de uniões são considerados.

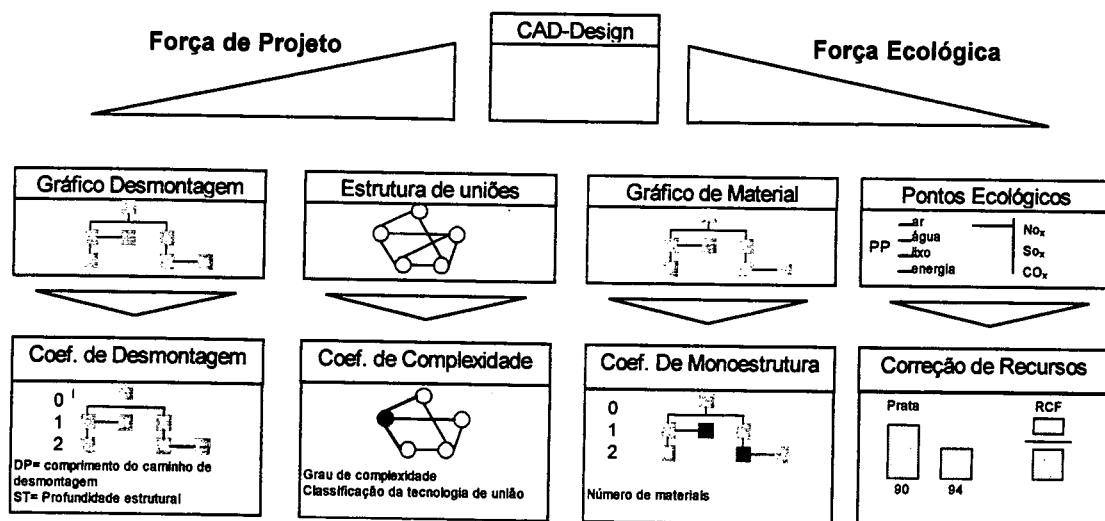


Fig. 2.11 - "Eco -Portfolio Method. [20]

Para a obtenção do índice DF, são determinados os seguintes coeficientes:

#### – Coeficiente de Desmontagem

O gráfico de desmontagem é obtido a partir de dados do projeto no CAD. Neste gráfico as prioridades ou hierarquias de componentes e a sequência de desmontagem podem ser deduzidos. Com o auxílio do grau de horizontalidade e verticalidade do gráfico de desmontagem, uma extensa avaliação do processo de desmontagem pode ser alcançada. No coeficiente de desmontagem, tem-se dois índices: grandeza da profundidade estrutural e o comprimento do caminho de desmontagem, que são combinados para um coeficiente pela média do número de partes. A profundidade estrutural mostra o número de níveis subseqüentes de desmontagem necessários para a completa desmontagem da estrutura. O

comprimento do caminho de desmontagem detalha o número de operações necessárias para desmontagem das partes relevantes;

#### – Coeficiente de complexidade

Dentro do sistema de análise estrutural a rede ou a complexidade da estrutura do produto é representado no diagrama de uniões. A análise estrutural serve para examinar exatamente as relações de adjacência e incidência em questão, ou seja, a conexão de componentes na estrutura e a relação das partes com as conexões. No coeficiente de complexidade, a média do grau de conexão é feita usando o número de partes. Para determinação do grau de complexidade deve-se utilizar o gráfico apresentado na figura 2.12;

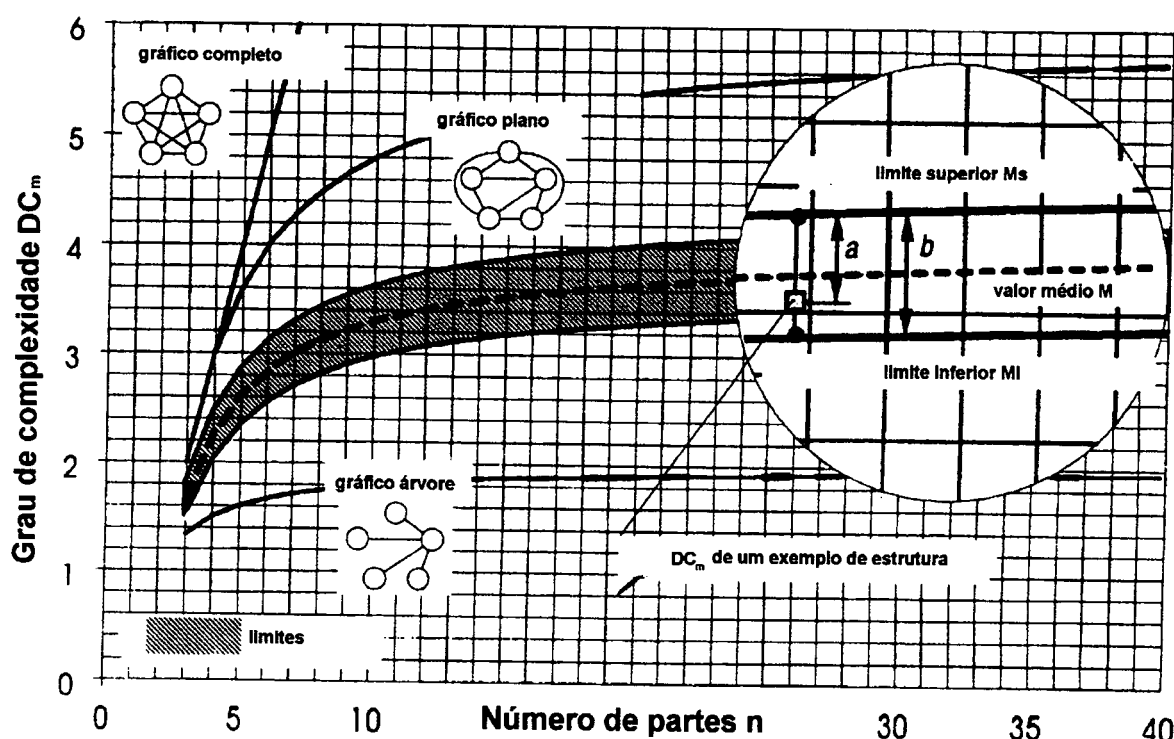


Fig. 2.12 - Determinação do coeficiente de complexidade.[20]

#### – Coeficiente de estrutura de união

As relações de incidência e adjacência provêm de uma classificação das conexões, assim como uniões de contato ou contato físico e também critérios relevantes para a função. No coeficiente de estrutura de união, as conexões são avaliadas de acordo com sua contribuição para a realização da função. Aqui as



relações de incidência de uma conexão funcional ou conectiva ou uma conexão separável/não separável são levadas em conta. O menor número possível de conexões levarão para a menor complexidade estrutural possível, quando a estrutura consiste somente de conexões desmontáveis relevantes para a função;

– **Coefficiente de mono-estrutura**

A demanda de projetos com adequada reciclagem apontam para a regra de mono material, ou seja, reduzir a variedade de materiais no projeto. O coeficiente de mono-estrutura resulta da média do número de partes por material.

O índice que mede a força de projeto (DF) é calculado pela média dos índices de complexidade, de desmontagem, de estrutura de união e de mono-estrutura.

O índice que avalia a força ecológica (EF - Ecological Force), ou seja, mede os efeitos ambientais dos produtos considera os seguintes aspectos:

- **pontos ecológicos:** utilizado para determinar os efeitos ambientais gerados por produtos, considerando desde a extração de matérias primas até o descarte do mesmos;
- **fator de correção de recursos:** utiliza-se de uma avaliação estatística para determinar a redução dos recursos naturais utilizados no produto;
- **período de utilização:** determina os efeitos ambientais produzidos pelo produto durante o uso.

A relação entre os dois índices, força de projeto (DF) e força ecológica (EF), são comparados para as várias soluções de projeto e deve ser selecionado aquele que apresenta a mais alta relação.

Spath [20] mostra ainda, a preocupação com os produtos existentes e que não foram concebidos sobre o enfoque da ecologia industrial, apresentando uma ferramenta para planejamento de desmontagem destes produtos. Uma ilustração dessa ferramenta pode ser observada na figura 2.13.

A primeira situação é aquela em que não existem informações do projeto do produto ou dados de desmontagem de um produto similar, estas

informações devem ser geradas por sucessivas desmontagens de um produto similar, utilizando-se uma estrutura padronizada de testes.

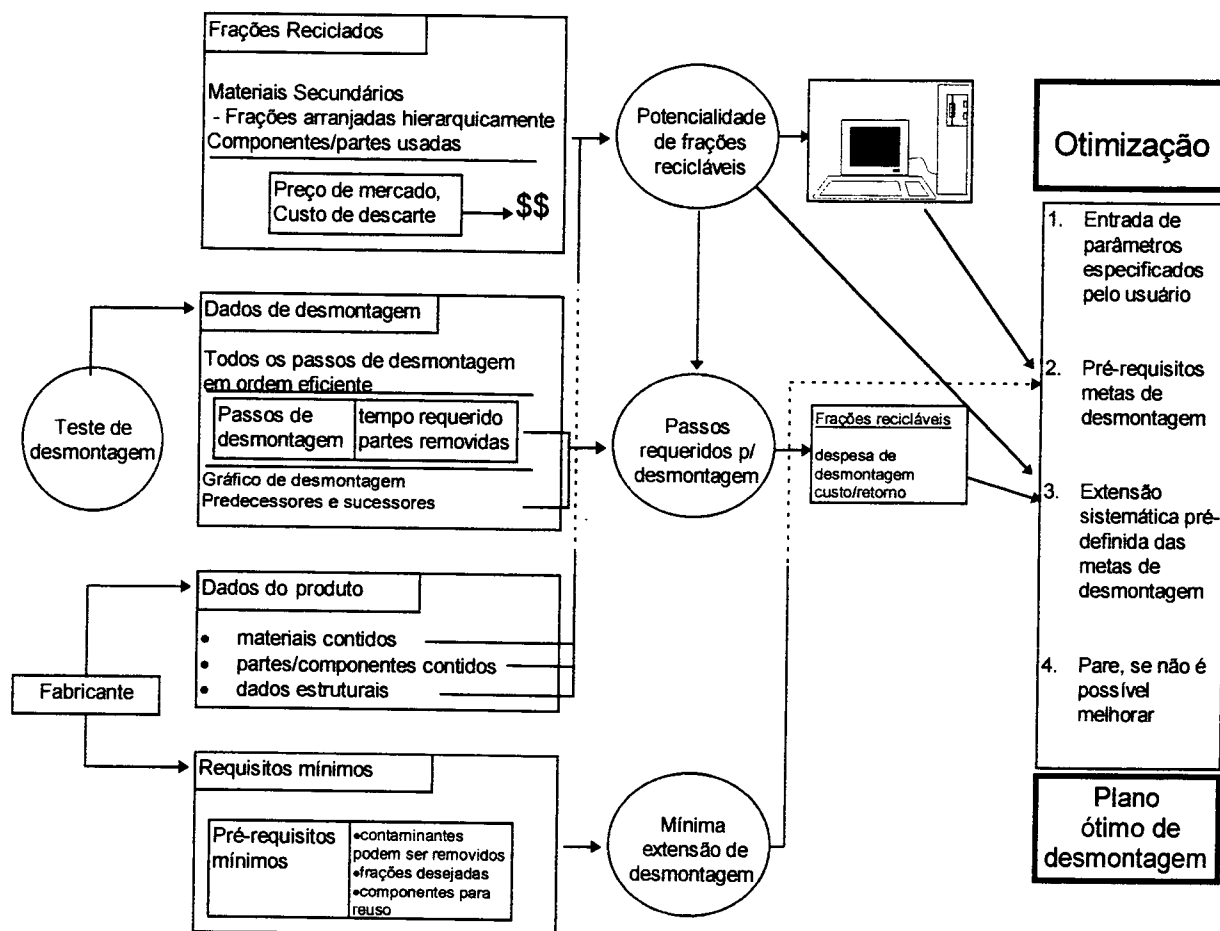


Figura 2.13 - Procedimento padrão para o planejamento de desmontagem.[20]

Deve estabelecer uma meta para a desmontagem do produto, em função dos componentes reutilizáveis, recuperáveis e recicláveis. O desmontador pode facilmente observar e registrar as partes desmontadas, as partes relacionadas e os componentes diretamente acessáveis. Isto permite, que as relações de precedência entre os vários passos podem ser subsequentemente determinados. Deve-se também, relacionar os materiais contidos em componentes desmontados ou partes que podem ser reutilizadas. Isto é necessário para determinar a fração reciclável contida em uma base de dados de uma empresa específica, incluindo informações de compra e preço.

A segunda possibilidade é o planejamento de desmontagem para

produtos que são freqüentemente obrigados a serem descartados, onde a profundidade econômica da desmontagem é determinada e assim o procedimento de operação a seguir é gerado numa base de requisitos especificados pelo fabricante (mínima extensão de desmontagem, remoção de partes únicas/componentes para reuso) ou por legislação (tratamento especial de contaminantes), bem como os meios de ajustamento à situação de mercado (aterro sanitário e custos de descarte, retorno alcançado com matérias-primas secundárias e partes usadas). A figura 2.13 mostra como avançar no planejamento de desmontagem para alcançar combinações otimizadas para a desmontagem.

## 2.5. NORMALIZAÇÃO INTERNACIONAL

A inquietação com a ecologia industrial aparece na medida em que os países detectam problemas em seus ecossistemas e então buscam medidas mais elaboradas de gestão ambiental. As primeiras medidas, buscando soluções para os problemas ambientais gerados por produtos, estão normalmente ligadas à introdução do rótulo ecológico do produto, como o elaborado pela Alemanha em 1977, denominado *Blau Engel*.

A Alemanha foi o primeiro país a implantar o sistema de rotulagem ambiental, seguida pelo Canadá que criou o *Environmental Choice* em 1988, o Japão com o *EcoMark* em 1989, os EUA com o *Green Seal* em 1990, a Coréia com o *EcoMark* em 1992 e Singapura com o *Green Label* em 1992.

Os rótulos ecológicos utilizados por estes países estão dirigidos aos produtos, apoiados nos critérios de estudo da produção ao descarte e baseados na redução ou eliminação de uma ou duas substâncias poluentes mais significativas do produto. Estes tipos de rótulos são denominados mono-critérios. O exemplo mais crítico desse modelo de avaliação, refere-se aos produtos com embalagens pressurizadas, que por terem eliminado a utilização do cloro-flúor-carbono (CFC), recebiam o rótulo ecológico, enquanto aqueles que sempre foram propelidos

manualmente, bem menos poluentes, nunca recebiam o selo.

Outros modelos de rótulo ecológico com uma abordagem mais abrangente, analisam além da eliminação de componentes poluentes do produto, também o processo produtivo, desde a matéria-prima até o descarte, denominado de análise do “berço ao túmulo”.

Os primeiros a utilizar este tipo de normalização, foram os países nórdicos em 1988 com o selo denominado *White Swan*, seguidos pela França com o *NF-Environment* em 1991 e que inspirou o European Ecolabel (1992), modelo adotado pela Comunidade Européia. O Reino Unido também elaborou um modelo de normalização ambiental, denominado *British Standard 7750*.

Todos estes modelos, individualmente criados nos países, culminaram com um conjunto de normas elaboradas pelo International Organization for Standardization (ISO), denominado de Sistema de Gestão Ambiental - Normas da Série ISO 14000. Este modelo a ser adotado por todos os países associados à ISO, começou a ser elaborado em 1994, já dispõe de algumas normas regulamentadas e outras ainda estão em fase de elaboração.

As normas da Série ISO 14000 estabelecem os seguintes princípios:

- reconhecer que a gestão ambiental é a soma das maiores prioridades da corporação;
- estabelecer o diálogo entre as partes interessadas;
- determinar os requisitos legais e os aspectos ambientais associados com as atividades da organização produtos e serviços;
- administração e empregados devem juntos desenvolver modos de proteção do meio ambiente, com definições claras de responsabilidade;
- encorajar o planejamento de estratégias ambientais para todos os ciclos de vida de produtos ou processos;
- estabelecer a gestão disciplinada do processo para alcançar os níveis de desempenho planejados;
- prover recursos apropriados e suficientes, incluindo treinamento, para alcançar os níveis de desempenho planejados em bases progressivas;
- avaliar o desempenho ambiental junto a políticas adequadas, objetivos e metas e buscar a melhoria contínua, quando apropriado;

- estabelecer uma gerência de processos para revisar e auditar o sistema de gestão ambiental e para identificar oportunidades para melhorar o sistema e o desempenho ambiental;
- coordenar sistemas de gestão ambiental com outros sistemas como saúde e segurança, qualidade e finanças.

Para atingir essas diretrizes, a organização das normas da Série ISO 14000 foi dividida em seis áreas que incluem:

- Sistema de Gestão Ambiental - exige o acompanhamento constante dos processos;
- Gestão Ambiental - mapeia a forma como as empresas devem aplicar as normas;
- Avaliação do desempenho ambiental, antes e no momento da certificação;
- Classificação ambiental de todos os produtos e processos;
- Avaliação do ciclo de vida do produto e seus resíduos;
- Transparência da empresa para análise dos aspectos ambientais por entidades certificadoras a qualquer momento.

O estágio de elaboração das normas da Série ISO 14000 pode ser observado na tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Normas e Referências da Série ISO 14000. [21]

Número	Título	Estágio
ISO 14001	Sistemas de Gestão Ambiental - Especificações e Orientações para uso	IS
ISO 14004	Sistemas de Gestão Ambiental - Diretrizes e Princípios Gerais, Sistemas e Suporte Técnico	IS
ISO 14010	Diretrizes para Auditoria Ambiental - Princípios Gerais	IS
ISO 14011/1	Diretrizes para Auditoria Ambiental - Procedimentos de Auditoria- Auditoria de Sistemas de Gestão Ambiental	IS
ISO 14012	Diretrizes para Auditoria Ambiental - Critérios de Qualificação para Auditores Ambientais	IS
ISO 14015	Avaliação da Situação Ambiental	NWI
ISO 14020	Metas e Princípios para toda Rotulagem Ambiental	CD
ISO 14021	Rotulagem Ambiental - Reivindicações de Declaração Ambiental - Termos e Definições	DIS
ISO 14022	Rotulagem Ambiental - Símbolos	WD
ISO 14023	Rotulagem Ambiental - Metodologias de Teste e Verificação	PWI

## Continuação

ISO 14024	Rotulagem Ambiental - Guia de Princípios, Práticas e Critérios para Programas de Análise Baseados em Multi-critérios (Tipo I) - Guia para Procedimentos de Certificação	CD
ISO 1402X	Tipo III - Rotulagem	PWI
ISO 14031	Avaliação de Desempenho Ambiental	WD
ISO 14040	Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Diretrizes	DIS
ISO 14041	Avaliação do Ciclo de Vida - Análise do Inventário do Ciclo de Vida	CD
ISO 14042	Avaliação do Ciclo de Vida - Avaliação do Impacto	PWI
ISO 14043	Avaliação do Ciclo de Vida - Interpretação	PWI
ISO 14050	Termos e Definições - Guia de Princípios par ISO/TC 207/SC Terminologia de Trabalho	DIS
ISO 14060	Guia para Inclusão de Aspectos Ambientais na Normalização de Produtos	Guia ISO

IS = Norma Internacional

PWI = Item preliminar de trabalho

NWI = Novo item de trabalho

DIS = Esboço de norma internacional

CD = Comitê de esboço

FDIS = Final de elaboração de norma internacional

Diretamente relacionado ao produto, tem-se então, as normas ligadas a rotulagem ambiental, a avaliação do ciclo de vida e principalmente o Guia ISO 14060 que trata da inclusão de aspectos ambientais na normalização de produtos. Esse guia traça as seguintes diretrizes:

- aumento da qualidade nas normas de produtos podem afetar o ambiente de forma positiva ou negativa;
- traçar o relacionamento entre normalização de produtos e meio ambiente;
- evitar fornecer normalização de produtos que possam conduzir para efeitos ambientais adversos;
- enfatizar que dirigir aspectos ambientais em normas de produtos é um processo complexo e requer um balanceamento competente das prioridades; e
- recomendar o uso do pensamento do ciclo de vida e reconhecer metodologias científicas no desenvolvimento de produtos normalizados que incorporem aspectos ambientais.

Para que estas diretrizes sejam atendidas o Guia ISO 14060 propõe as seguintes medidas:

- **Conservação de Energia:** em termos de entrada de materiais, se não no uso do recurso, mas no esgotamento do mesmo, que é a maior preocupação ambiental.

O esgotamento do recurso refere-se ao processo de diminuição de estoques naturais e conseqüentemente suas capacidades. Quanto menos recursos forem utilizados melhor;

- **Prevenção da Poluição:** as atividades humanas e industriais resultam em liberações para o ar, a terra e/ou a água. Deve-se buscar maneiras para reduzir essas liberações, incluindo princípios como redução de uso direto da fonte, reuso, reciclagem, substituição de materiais e tratamento para reduzir danos e/ou volume;
- **Projeto para o Meio Ambiente:** A evolução de técnicas como o Projeto para o Meio Ambiente que estão sendo aplicadas em vários setores industriais ligados ao desenvolvimento de produto, devem ser utilizados na normalização de produtos. Por exemplo Projeto para o Meio Ambiente incorpora princípios que são parte do conceito, necessidades e projeto do produto. Considerações sobre normalização de produtos devem envolver substituição de matérias, reuso, manutenibilidade, projeto para reciclagem e projeto para desmontagem.

É unânime a preocupação dos autores com o desenvolvimento sustentável, todos buscam alternativas para a ecologia industrial, pois além da necessidade de preservação do planeta, também entendem esta questão, como uma necessidade mercadológica, senão hoje, vislumbrando uma mudança de comportamento do consumidor.

As ferramentas apresentadas pelos autores se contrapõem na forma, mas todas buscam maneiras de alcançar o desenvolvimento sustentável.

A principal divergência observada, está na análise do ciclo de vida dos produtos, onde alguns autores a colocam como uma ferramenta indispensável e outros a contestam pela dificuldade de utilização. O que se nota é que esta ferramenta é extremamente importante, mas que se precisa fazer um grande investimento em pesquisas para determinar os parâmetros de todos os materiais utilizados industrialmente.

As ferramentas também se diferenciam na acessibilidade, pois algumas se apresentam de maneira bastante complexa para serem utilizadas por projetistas. Na verdade a equipe de projetistas deve, na busca da ecologia

industrial, contar com especialistas ambientais.

Os modelos apresentados, que devem ser incorporados à metodologia convencional de projeto de produto, vão desde o projeto para o meio ambiente, passando pelo projeto para reciclagem e o projeto para desmontagem, apresentam a preocupação com o produto em todo o seu ciclo de vida. Todos tem a visão que a fase de projeto é essencial para a ecologia industrial, pois ao se incorporar as possibilidades de reutilização, recuperação e reciclagem ao produto, na fase de desenvolvimento, elimina-se a necessidade de soluções paliativas a serem encontradas posteriormente.

Por sua vez, a elaboração das normas da Série ISO 14000, darão um grande impulso para que as indústrias se atentem ao problema da ecologia industrial, uma vez que a mesma funcionará como um elemento definidor de barreiras de mercado para aqueles que não contarem com a certificação ISO 14000.

O projeto para desmontagem viabiliza todas as metodologias anteriores, pois através da desmontagem do produto é que se poderá alcançar pontos ótimos de reutilização, recuperação e/ou reciclagem de componentes do produto.

A desmontagem do produto possibilitará a geração de oportunidades de negócio, e conseqüentemente oportunidade de empregos, bem como a geração de outros produtos.



### CAPÍTULO 3 - FERRAMENTAS A SEREM UTILIZADAS NO DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Ao utilizar-se o conceito de projeto para desmontagem no desenvolvimento de produtos, devem ser observados quais os objetivos a serem atingidos. Neste trabalho, a preocupação está centrada na busca da ciclicização dos materiais, ou seja, desmontar o produto no pós-uso, objetivando que componentes e materiais possam ser recuperados, reutilizados ou reciclados, fazendo com que se obtenha, na medida do possível, um ciclo fechado de materiais. A situação atual é de que a vida do produto termina no momento em que o mesmo é descartado. A figura 3.1 mostra o conceito de ciclo vida de produto utilizado até o momento.

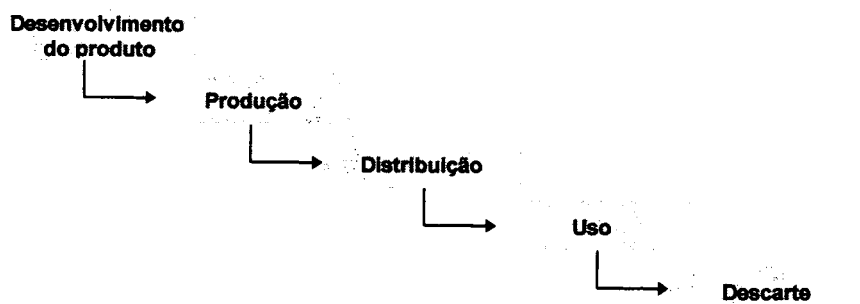


Fig. 3.1 - Conceito atual de vida do produto.

O que se deseja é que o produto descartado, seja reintegrado ao processo produtivo, influenciando principalmente no desenvolvimento e produção de novos produtos, pois partes poderiam ser reutilizadas e materiais reciclados podem ser especificados no projeto e utilizados na produção de novos produtos. Desta forma o ciclo de vida do produto teria uma nova configuração, que está apresentada na figura 3.2.

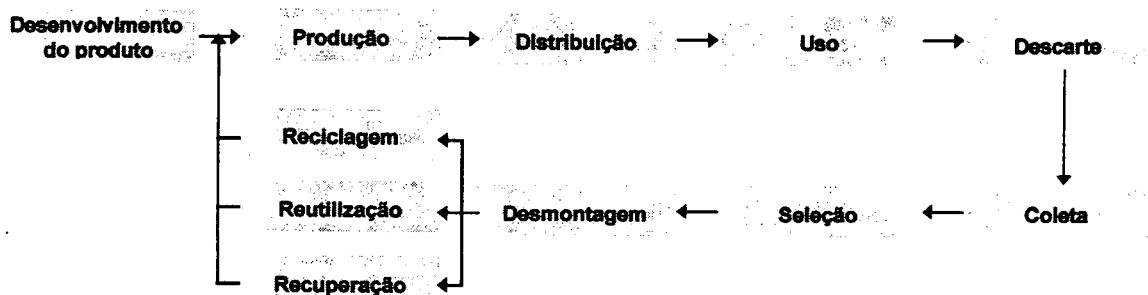


Fig. 3.2 - Novo conceito de vida do produto.

Assim, novas etapas estão inseridas no ciclo e deve-se procurar maneiras de executá-las da forma mais adequada. Como a fase de desenvolvimento do produto é a etapa inicial do processo deve-se entender claramente as suas fases e determinar em quais dessas fases, o conceito de projeto para desmontagem deve ser utilizado e também, quais as formas de utilização, para que se possa obter melhores resultados. A figura 3.3. apresenta as fases do processo convencional de projeto de produto.

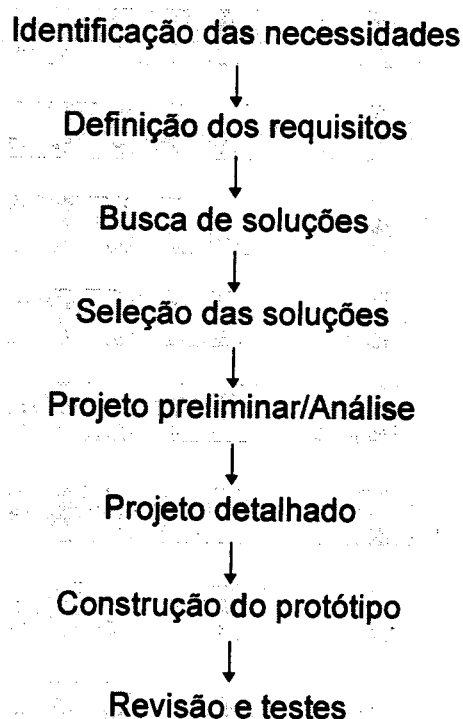


Fig. 3.3 - Fases da metodologia convencional do processo de projeto.

O projeto para desmontagem não se caracteriza como uma nova metodologia de projeto, mas representa um conjunto de princípios e análises a serem incorporados no processo convencional de projeto.

### 3.1- REQUISITOS DO MODELO

Para elaboração do modelo de avaliação do projeto para desmontagem devem ser estabelecidos quais os requisitos para a sua utilização pelos projetistas. Os requisitos iniciais são:

- as ferramentas devem ser fáceis de serem utilizadas, pois os projetistas têm uma preocupação central que é a de atender a função do produto;
- as ferramentas devem produzir um aumento muito pequeno de carga de trabalho dos projetistas;
- o modelo deve estar integrado em um sistema de projeto auxiliado por computador, uma vez que esta é uma ferramenta utilizada por todos os projetistas;
- o modelo deve conter um conjunto de princípios de projeto, pois estes fornecem diretrizes na síntese das soluções de projeto;
- o modelo deve dispor de um banco de dados de elementos de uniões, apresentando um índice de desmontagem para cada elemento;
- o modelo deve dispor de um banco de dados de materiais a serem utilizados no projeto;
- o modelo deve ser capaz de medir o índice de desmontagem para cada solução de projeto proposta para o produto;
- as influências subjetivas devem ser minimizadas no modelo.

Para atender esses requisitos, o modelo deverá ser uma ferramenta assistida por computador, que fará a ligação entre o projeto do produto desenvolvido em um sistema de projeto auxiliado por computador (CAD -Computer Aided Design), onde também serão feitas as especificações para cada componente e elementos de união utilizados no projeto e um banco de dados onde estarão armazenados os valores para as especificações, determinando a partir desses itens, o índice de desmontagem para cada solução de projeto. A aplicação do modelo se dará em diferentes fases do processo de projeto uma vez que conterá os princípios de projeto que podem ser utilizados na fase conceitual, as informações sobre materiais e elementos de união podem ser consultadas em qualquer das fases, sendo que a avaliação propriamente dita, só poderá ser realizada na fase de projeto detalhado.

Serão utilizados no desenvolvimento do modelo as seguintes ferramentas:

- um sistema de projeto auxiliado por computador (CAD);

- um sistema de gerenciamento de banco de dados;
- uma linguagem de programação para desenvolvimento do modelo.

### **3.2 - SISTEMAS DE PROJETO AUXILIADO POR COMPUTADOR (CAD)**

São chamados sistemas CAD, qualquer sistema computacional, destinado a auxiliar na atividade de projeto. Entretanto, atualmente, quando se refere a sistema CAD, está subentendido que o apoio fornecido ao projetista está baseado em processos interativos que utilizam recursos de computação gráfica, uma vez que, os sistemas CAD permitem ao projetista, criar, modificar e visualizar seus projetos de forma interativa.

#### **3.2.1 - Desenvolvimento de Projetos em Sistemas CAD**

A aplicação de sistemas CAD no projeto de produto, pode ser feita nas diferentes fases do processo de projeto, de acordo com os recursos de *hardware* e *software* disponíveis e com as habilidades dos projetistas. Basicamente existem duas formas de trabalho em sistema CAD:

- **Utilizando o espaço bidimensional:** A utilização do espaço bidimensional, chamado 2D se dá em substituição à prancheta e aos outros instrumentos de desenho. Nesse caso são utilizadas as coordenadas X,Y para especificar pontos para a construção de objetos a partir de primitivas geométricas como a reta e o arco. A combinação desses elementos básicos formará uma representação do objeto projetado, sendo que esses elementos poderão ser tratados individualmente ou agrupados para compor uma única entidade. Desses objetos criados podem ser obtidos características como área, perímetro e distância entre pontos. Como é mais difícil de criar em espaço bidimensional, produtos que serão utilizados na vida real, esse modo de trabalho é aplicado com maior adequação à

fase de projeto detalhado, especialmente na fase de documentação do projeto.

- **Utilizando o espaço tridimensional:** No espaço tridimensional dos sistemas CAD é possível fazer o modelamento de produtos, tal como eles serão na vida real. Esse modelamento pode ser feito utilizando-se superfícies que se combinam para formar o objeto, ou através da modelagem sólida onde, a partir da combinação de figuras geométricas espaciais como o cilindro, a esfera e o prisma, se constróem objetos mais complexos. O modelamento tridimensional pode ser utilizado no projeto de produto, já na fase de busca de soluções uma vez que facilita a geração de uma grande quantidade de alternativas para o produto. Como alguns sistemas permitem a geração automática de vistas em 2D, se reduz sensivelmente o tempo utilizado no detalhamento do projeto. No espaço tridimensional os objetos podem ser visualizados por todos os ângulos e a esses objetos estão associados características como massa e volume. Cabe lembrar ainda, que nas duas situações, dados não gráficos, na forma de atributos, podem ser associados aos objetos, de tal forma que esses atributos possam ser tratados posteriormente por um *software* de CAE (Engenharia Auxiliado por Computador).

O *software* de CAD, utilizado neste trabalho para a execução dos projetos exemplos será, o AutoCAD R13 [22] e [23], desenvolvido pela Autodesk. Esse *software* é generalista, ou seja, aplicável em diversas áreas da engenharia. Ele se mostra adequado ao trabalho em virtude de possuir uma integração relativamente fácil com os *softwares* de gerenciamento de banco de dados. Essa integração representa uma das necessidades básicas neste trabalho, uma vez que o que se pretende é que a partir do projeto realizado em CAD, se cadastre as informações pertinentes numa base de dados, diretamente acessável a partir do CAD. Posteriormente essas informações serão tratadas pelo modelo de avaliação proposto.

### 3.3 - GERENCIAMENTO DE INFORMAÇÕES EM BANCO DE DADOS

Um banco de dados é uma coleção de dados operacionais armazenados, usados por sistemas de aplicação específica.

O sistema de banco de dados é basicamente um sistema de manutenção de registros por computador, ou seja, um sistema cujo objetivo geral é manter informações e torná-las disponíveis quando solicitadas.

Um sistema de banco de dados envolve:

- **dados:** os dados constantes em um banco de dados podem ser classificados da seguinte forma:
  - **integrados:** unificação de diversos arquivos de dados que seriam distintos, eliminando-se total ou parcialmente qualquer redundância entre os mesmos;
  - **compartilhados:** parcelas isoladas de dados podem ser compartilhados por diversos usuários num mesmo banco de dados, no sentido de que todos os usuários podem ter acesso a mesma parcela de dados e usá-los de formas diferentes;
- **software:** entre o banco de dados e os usuários do sistema encontra-se o *software*, gerenciador do banco de dados (DBMS - Database Management System), onde todas as solicitações do usuário de acesso ao banco de dados são manipulados. O gerenciador do banco de dados possibilita que o usuário tenha uma visão do banco de dados acima do nível de *hardware*;
- **usuários:** os usuários de banco de dados se dividem em três classes:
  - **programador de aplicação** - responsável pela definição de programas de aplicação que utilizam o banco de dados;
  - **administrador do banco de dados** - responsável pelo controle do sistema. Suas responsabilidades são: decidir a estrutura de armazenamento e a estratégia de acesso, definir os controles de segurança e integridade, servir de elo de ligação com o usuário final, monitorar o desempenho e atender as necessidades de modificações.
  - **usuário final** - que interage com o sistema a partir de um terminal *on-line*,

ou seja, utiliza as informações contidas no banco de dados.

### 3.3.1 - Modelos de Organização de Dados

Os bancos de dados são classificados em categorias conforme a abordagem adotada para a estruturação de dados e operadores suportados. Os sistemas mais comuns estão apresentados a seguir:

- **Modelo de Gerenciamento de Arquivos:** é o único modelo que descreve como os dados são armazenados no disco. Nesse sistema cada campo ou item é armazenado seqüencialmente no disco, em um único arquivo, como se fosse um processador de texto. A pesquisa então, nessa base de dados, é sempre realizada a partir do início da lista, verificando cada item, até encontrar aquele que combina com o desejado. A única vantagem apontada para esse sistema é a sua simplicidade e as desvantagens são várias: não há indicação de relação entre os vários itens, a não ser a seqüência em que estão armazenados; a integridade dos dados pode ser afetada por aplicativos diferentes que tenham acesso aos mesmos dados; as pesquisas são sempre realizadas a partir do início da lista; a única maneira de classificar os dados é reescrevendo o arquivo na nova ordem; e o modelo não facilita mudanças na estrutura do banco de dados;
- **Modelo Hierárquico:** É definido pela organização lógica dos dados que obedecem a uma estrutura hierárquica. A estrutura do modelo é em árvore. A árvore é composta por uma hierarquia de elementos chamados nós, o nível superior é denominado raiz e com exceção da raiz, todo nó está vinculado a outro nível superior chamado predecessor, no entanto, todo elemento pode ter um ou mais elementos relacionados em um nível inferior, chamados de sucessores. A principal vantagem deste modelo reside no fato de ser flexível, pois possibilita a inserção de novos campos em qualquer nível. As desvantagens se devem ao fato da estrutura inicial ser definida arbitrariamente pelo programador na criação do banco de dados e não poder ser alterada a não ser

que seja totalmente reprojeta, e também, na dificuldade de definição dos níveis das classes;

- **Modelo Plex ou em Rede:** Nesta estrutura, qualquer nó pode estar relacionado com qualquer outro. Toda estrutura pode representar-se de uma forma mais simples de maneira a transformá-la em uma ou mais estruturas hierárquicas com introdução de certa redundância de dados. As principais dificuldades devem-se ao estabelecimento das relações entre as classes e da necessidade de reprojeto do sistema para uma nova estrutura de relações;
- **Modelo Relacional** Está baseado na observação de arquivos que obedecem certas limitações. Podem ser consideradas relações matemáticas onde a teoria elementar das relações pode ser utilizada. O modelo relacional é uma forma de ver os dados e como manipular essa representação. Os dados são apresentados em tabelas. Cada tabela representa um conjunto de dados com finalidades específicas. Uma tabela possui uma estrutura bidimensional, isto é, com colunas, chamadas “campo” e linhas, denominados “registro”. O campo é uma categoria de informação, como por exemplo o custo de um material. Um registro é um conjunto de informações sobre um material. Cada registro é uma tabela contendo os mesmos campos e cada campo contém o mesmo tipo de informação para cada registro. As principais vantagens do modelo estão relacionadas à flexibilidade na descrição das relações entre os vários itens de dados. As pesquisas podem ser feitas em qualquer coluna da tabela ou nas relações entre as diferentes tabelas, além de não ser necessário recriar toda a estrutura de banco de dados para fazer alterações, garantindo a integridade da informação.

O modelo para organização da base de dados a ser utilizado neste trabalho é o relacional, uma vez que apresenta uma estrutura flexível para reorganização da base de dados, além de ser o modelo mais atual e também porque os *softwares* de gerenciamento de banco de dados, disponíveis no mercado, utilizam este modelo.

Inicialmente, pretendia-se utilizar como *software* de gerenciamento de



banco de dados, o ACCESS, desenvolvido pela Microsoft, por este ser um dos gerenciadores de banco de dados mais utilizados, atualmente. Mas, devido ao sistema operacional utilizado ser o Windows 95, e pela necessidade de conexão direta com o *software* de CAD, observou-se que o *drive* para conexão com o ACCESS não estava disponível. Verificando o arquivo ASI.INI, que estabelece as conexões do AutoCAD com os *softwares* de banco de dados, determinou-se que estavam disponíveis, para o sistema operacional Windows 95, os seguintes *drives*:

- DBASE III;
- DBASE IV;
- ODBC 2.0; e
- FOXPRO 2.0.

Testando-se cada uma das conexões disponíveis, observou-se que o DBASE III foi o único que diretamente estava acessível, pois ao tentar a conexão com os outros *drives*, verificou-se a falta de componentes no sistema, o que impediu a sua utilização. Desta forma, optou-se pela utilização do DBASE III como *software* para gerenciamento de banco de dados.

O DBASE III utiliza o modelo relacional para organização dos dados. Esse *software* não apresenta uma interface muito amigável para o usuário, pois o mesmo foi projetado para ser utilizado no sistema operacional MS-DOS.

Cabe aqui salientar, que na aplicação do modelo, o usuário não terá contato direto com o *software* de gerenciamento de banco de dados, uma vez que a organização da base de dados estará pronta e incorporada ao modelo.

Neste caso, o usuário terá contato apenas com a base de dados, quando for cadastrar novas uniões e materiais, e isso será feito diretamente no *software* de avaliação ou então para registrar informações do projeto, diretamente do *software* de CAD. O Capítulo 4, referente a descrição do modelo, esclarece o relacionamento entre *software* de CAD, base de dados e *software* de avaliação.

### 3.4. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO

Uma linguagem de programação é necessária para o desenvolvimento

de uma ferramenta assistida por computador. A linguagem de programação selecionada foi a DELPHI 2.0 [24], desenvolvida pela Borland International Inc., que apresenta-se como uma ferramenta ideal para criar aplicativos a serem executados em ambiente Windows. Atualmente é considerada como a melhor linguagem para aplicações que trabalhem com banco de dados. Os recursos disponíveis no DELPHI são:

- compiladores rápidos e otimizados;
- geração de executáveis, sem a necessidade de utilização de bibliotecas de *run-time* para distribuição de aplicações;
- totalmente orientada a objetos, baseando-se na linguagem Object Pascal;
- possibilidade de criar componentes nativos (novas classes);
- fácil interface com o usuário, por ser uma ferramenta visual;
- permite a criação e produção de aplicativos de maior robustez;
- conectividade com banco de dados, através do Borland Database Engine;
- criação de relatórios com dados reais em modo de desenvolvimento; e
- flexibilidade para movimentação de banco de dados de uma plataforma PC para uma plataforma mais robusta.

Uma linguagem de programação orientada a eventos, significa que a cada evento (ação) ter-se-á uma resposta. Esse modo de programação é mais indicado para ambiente Windows, uma vez que este ambiente já é orientado a eventos.

Na verdade, a direção a eventos significa que o programa não restringe a seqüência de ações do usuário. Por exemplo, em um programa para Windows, o programador não tem como saber a seqüência de ações que o usuário irá executar, ele pode selecionar um item de menu, clicar um botão, ou marcar um texto. Logo, na programação orientada a eventos, o programador escreve o código para manipular qualquer evento que ocorra, em vez de escrever um código que sempre execute a mesma ordem restrita.

O DELPHI é uma ferramenta de programação totalmente orientada a eventos, pois não se sabe quando o código será executado, mas sabe-se que ele será executado quando o evento ao qual ele está associado ocorrer.

Os eventos que podem ocorrer são divididos em dois tipos:

- eventos de usuários: são ações iniciadas pelo usuário, como por exemplo clicar um botão;
- eventos de sistema: são eventos que o sistema operacional dispara, como por exemplo o *timer*, componente do sistema, que executa um evento a cada intervalo de tempo.

Independente de como o evento foi disparado, o DELPHI procura observar se existe algum código associado ao manipulador de eventos. Caso exista, aquele código é executado, caso contrário, nada ocorre.

## **CAPÍTULO 4 - DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE AVALIAÇÃO DO PROJETO DE PRODUTO PARA DESMONTAGEM**

### **4.1- DESCRIÇÃO DO MODELO**

Como já foi mencionado no capítulo anterior, o modelo a ser desenvolvido constitui-se de uma ferramenta assistida por computador a ser incorporada no desenvolvimento do produtos, com o objetivo de realizar a avaliação das soluções de projeto, observando as alternativas de especificações de materiais, as relações de posicionamento entre os vários componentes e os elementos de união. Esse modelo se aplica às diferentes fases do processo de projeto, uma vez que conterà os princípios de projeto que podem ser utilizados na fase conceitual, as informações sobre materiais e elementos de união podem ser consultadas em qualquer das fases, sendo que a avaliação propriamente dita, só poderá ser realizada na fase de projeto detalhado, auxiliando assim, a equipe de projeto na tomada de decisão. Com esse modelo pretende-se buscar:

- melhor projeto para desmontagem, observando-se os índices de desmontagem obtido para cada solução de projeto;
- custo de desmontagem do produto; e
- custo de reciclagem do produto.

O modelo terá um fluxo de informações como está apresentado na figura 4.1. Como pode ser observado, o projeto de produto deverá ser desenvolvido em *software* de CAD, onde todos os componentes e elementos de união colocados no projeto, bem como o relacionamento entre cada um deles, deverão ser cadastrados num banco de dados que será conectado, pelo usuário, ao sistema CAD. No momento, que todos os dados referentes ao projeto forem cadastrados encerra-se a fase de utilização do sistema CAD.

O *software* desenvolvido como ferramenta de avaliação, constará então, de três entradas com objetivos diferentes para o usuário, pois além de ser

utilizado para efetivamente processar os dados referentes a determinação do índice de desmontagem e custos, também será acessado para incorporar novos dados na base de dados de uniões, materiais e projetos ,e ainda, na fase de seleção de soluções, o mesmo poderá ser utilizado pelo usuário para consulta das principais de projeto para desmontagem.

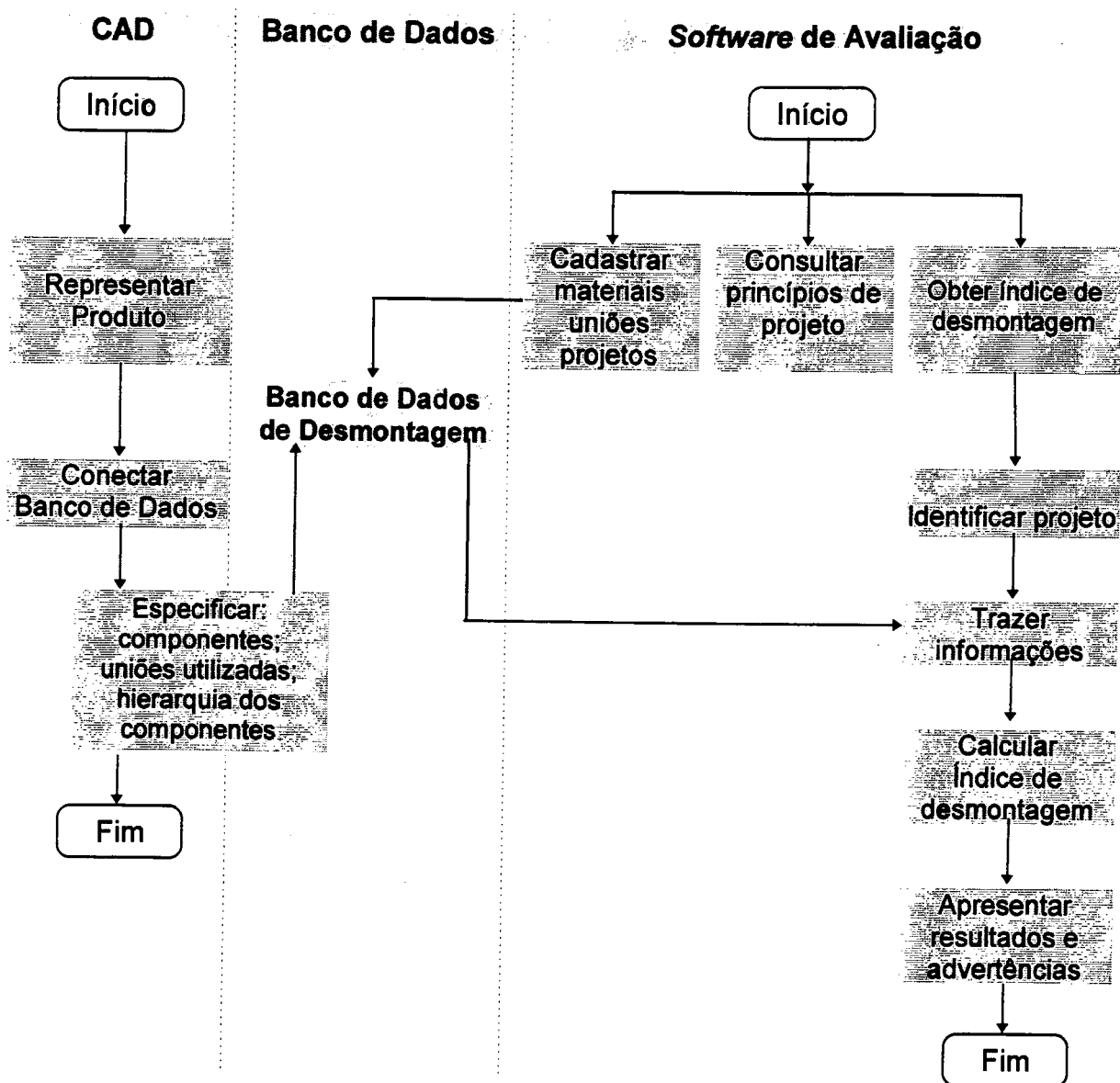


Fig. 4.1 - Fluxo de informações do modelo.

O *software* para gerenciamento de banco de dados, estará então, apenas intermediando as operações necessárias para a aplicação do modelo, sendo

que o usuário não terá contato com o mesmo.

#### **4.1.1 - Informações Necessárias para Aplicação do Modelo**

São considerados necessários para aplicação do modelo, os seguintes elementos:

- **Componentes do produto:** para este item são relevantes: o processo de fabricação, o material, o peso, a direção de desmontagem (direita, esquerda, cima, baixo), o sentido de desmontagem (vertical, horizontal) e o custo de obtenção do componente;
- **Uniões:** para as uniões devem ser considerados no modelo: o material, a dificuldade de desmontagem (que contará com uma metodologia específica para sua determinação) e o tempo de desmontagem;
- **Materiais:** para os materiais deverão estar relacionados: o custo do material, a possibilidade de reciclagem, o custo de reciclagem e o peso específico;
- **Hierarquia:** este representa um item de extrema relevância, pois estabelece, juntamente com os elementos de união utilizados, a maior ou menor dificuldade de desmontagem do produto. Quanto maior a hierarquia, maior a dificuldade de desmontagem do produto. Para a colocação deste item no modelo deverão ser consideradas as relações de precedência e adjacência entre os componentes.

#### **4.1.2 - Saídas do Modelo**

Após o processamento dos dados deverá ser obtido um relatório, apresentando os seguintes dados para cada projeto avaliado:

- número de componentes;
- número de elementos de união;
- número de materiais utilizados no projeto;
- número de níveis hierárquicos;
- índice de desmontagem do produto;

- custo de desmontagem do produto;
- custo de reciclagem; e
- advertências pela utilização de materiais não recicláveis no projeto.

A partir dessas saídas, a equipe de projeto, comparando os valores de cada solução, fará a opção de acordo com os requisitos estabelecidos para cada projeto.

## **4.2 - LEVANTAMENTO DOS PRINCÍPIOS DE PROJETO PARA DESMONTAGEM**

Os princípios de projeto para desmontagem, estarão inseridos no modelo sob a forma de texto para consulta, os mesmos são de extrema relevância para o projeto do produto, pois contribuem para que cada solução de projeto obtenha no modelo, um melhor índice de desmontagem, avaliado pelo modelo proposto.

Para que ocorra a reutilização, recuperação e/ou reciclagem de produtos ou partes do mesmo, são necessárias as seguintes etapas:

- coleta: para que um produto seja reutilizado, recuperado ou reciclado torna-se necessário que ele venha até o local onde estas operações serão realizadas;
- separação: dependendo da forma de coleta utilizada, pode ser necessário que os produtos sejam separados. Se forem coletados de uma única vez, produtos diferentes, essa etapa será necessária;
- limpeza: dependendo do tipo de produto, ou da forma de coleta, esta etapa será realizada ou não;
- desmontagem: esta é a etapa indispensável para produtos constituídos por vários componentes fabricados com diferentes materiais e que se tenha os objetivos de reutilizar, recuperar e/ou reciclar partes do mesmo.

A observação dos princípios de projeto para desmontagem no desenvolvimento do produto, contribuirá para facilitar a execução destas etapas.

Ao longo do tempo observa-se a importância dos princípios para o desenvolvimento do projeto, pois as mesmas a medida que são utilizadas

conseguem criar uma linha de pensamento e o seu uso freqüente faz com que as mesmas sejam usadas intuitivamente no projeto.

Dentro da metodologia convencional de projeto essas princípios se aplicam na fase de seleção de soluções para o produto, pois a medida que determinadas alternativas não atendam esses princípios, podem ser eliminadas. Esses princípios conduzem o projeto a obter um melhor índice de desmontagem.

Como princípios de projeto para desmontagem foram levantados os seguintes dados, que foram agrupados pela área de maior interferência. Ao lado de cada princípio está apresentado o número da referência bibliográfica:

– **Princípios que interferem na função do produto**

- direção linear e unificada de desmontagem; [5]
- estrutura sanduíche com elemento central de união; [5]
- estrutura de base para produto; [5]
- grupos de montagens padronizadas para variantes (família de produtos); [5]
- evitar partes não rígidas; [5]
- integrar as partes; [5]
- padronizar partes para múltiplo uso; [5]
- elementos devem estar centrados na base; [5]
- padronizar marcas de pega próximos ao centro de gravidade; [5]
- projetar para fácil manuseio, separação e limpeza; [5], [25]
- simplificar usos/usuário potenciais de produtos e partes; [5]
- evitar acabamentos secundários como pintura, revestimento e cobertura; [5]
- evitar insertos; [5]
- maximizar a integração de funções em uma parte que reduz o número de partes com materiais diferentes. [5], [26]

– **Princípios que interferem na seleção de materiais**

- não combinar materiais com tempos de vida diferentes; [5]
- combinar materiais não corrosivos; [5]
- proteger grupos de montagem da poluição ou corrosão; [5]



- minimizar o número de diferentes materiais; [5], [25]
- usar materiais compatíveis; [5], [25]
- usar materiais recicláveis, incluindo pontos de união; [5]
- usar adesivos solúveis em água; [25]
- usar materiais reciclados se estes reúnem os requisitos de engenharia; [25]
- evitar o uso de materiais tóxicos. [5]

**– Princípios que interferem na desmontagem**

- fazer marcas de operação para ferramentas de separação destrutivas; [5]
- minimizar número de elementos de união; [5]
- usar elementos de união destacáveis ou fáceis de destruir; [5]
- evitar mudança de direção para desmontagem; [5]
- padronizar e simplificar técnicas de união; [5]
- marcar elementos centrais de união para desmontagem; [5]
- prover acesso e visibilidade aos pontos de separação; [5], [25]
- possibilitar separação e desmontagem simultâneas; [5], [25]
- evitar necessidade de simultâneas desmontagens em diferentes elementos de união; [5]
- simplificar e padronizar componentes ajustáveis e interfaces; [25]
- identificar pontos de separação; [25]
- rotular materiais para fácil identificação e separação; [25]
- escolher uniões fáceis de separar para partes que tem valor de reuso; [25]
- usar uniões protegidas contra corrosão se estas estiverem expostas a ambientes severos; [25]
- usar mesmo tamanho de uniões para partes adjacentes; [25]
- prover acesso para ferramentas de desmontagem. [25]

## **4.3 - FORMULAÇÃO DO MODELO**

Pretende-se aqui desenvolver um modelo capaz de definir para cada

solução de projeto um índice de desmontagem. Cada projeto terá então um índice absoluto, que comparado aos índices de vários projetos, fornecerá o melhor projeto para desmontagem. Além disso, pretende-se também obter o valor do custo de desmontagem e reciclagem dos materiais, para cada projeto. Desta forma a escolha da solução deverá ser feita pela equipe de projeto, considerando-se também, esses dois valores.

#### 4.3.1 - Índice de Desmontagem (ID)

O índice de desmontagem irá determinar a maior ou menor facilidade para desmontar o produto, em cada solução de projeto. Para isso serão considerados no modelo o número de componentes do projeto, o número de uniões utilizadas, os diferentes materiais utilizados, o número de níveis hierárquicos que correspondem ao posicionamento relativo dos componentes do projeto. Além disso, também serão analisados para determinação do índice de desmontagem a dificuldade de desmontagem produzidas pelo uso de elementos de união e pelas direções e sentidos de desmontagem existentes na hierarquia dos componentes.

Para determinar o índice de desmontagem, inicialmente estabeleceu-se a contagem dos componentes, uniões, materiais e hierarquia (níveis de desmontagem) dos componentes para cada solução e definiu-se que para determinar o índice de desmontagem deve-se fazer a soma de todos esses elementos, criando assim um índice de contagem (IC), apresentado na expressão 1.

$$IC = NC + NU + NM + NH \quad (1)$$

onde:

NC = número de componentes;

NU = número de uniões;

NM = número de materiais;

NH = número de níveis hierárquicos.

A expressão (1), não contempla toda a avaliação da desmontagem do produto, pois apenas estão contabilizados a quantidade de componentes, uniões, materiais e hierarquia. Ainda é necessário acrescentar ao modelo as dificuldades produzidas pelos elementos de união e pelos níveis hierárquicos.

Sabe-se que uniões diferentes produzem dificuldades diferentes para a desmontagem, dessa forma é indispensável que esses valores sejam considerados. Na base de dados de uniões constará um registro relativo a dificuldade de desmontagem para cada elemento de união.

No modelo será então, definida a dificuldade de desmontagem (DDU) somando-se as dificuldades de desmontagem de todos os elementos de união utilizados no projeto, obtendo-se assim o valor de acordo com a expressão (2).

$$DDU = \sum_{i=1}^n Ddu \quad (2)$$

onde:

DDU = soma da dificuldade de desmontagem produzida por todas as uniões do projeto;

Ddu = dificuldade de desmontagem de cada união utilizada no projeto.

O método para definição dos valores individuais de dificuldade de desmontagem dos elementos de união (Ddu) estão descritos no item 4.4.1.2.

Há que se considerar no modelo, a dificuldade de desmontagem dos componentes, produzida pelos vários níveis, direções e sentidos de desmontagem. Essa dificuldade será denominada dificuldade de desmontagem hierárquica (DDH).

Para obtenção do valor da dificuldade hierárquica será necessário comparar as mudanças de direção e sentido de desmontagem para cada componente na hierarquia. Essa comparação no modelo será feita da seguinte forma:

– sentido de desmontagem

será estabelecido um contador que somará o valor 1 a cada diferente sentido de desmontagem. Por exemplo o componente 01 é desmontado pela direita e o componente 02 é desmontado pela esquerda, portanto possuem sentidos de desmontagem diferentes, assim será acrescido o valor 1 (um) ao contador. Após

realizar todas as comparações, o valor contido no contador será dividido pelo número de níveis hierárquicos (NH) -1, uma vez que o número comparações realizadas é (n-1). Essas comparações serão realizadas, inicialmente para cada subconjunto e posteriormente serão somados os valores de todos os subconjuntos, de acordo com a expressão (3). Entenda-se aqui, que o subconjunto corresponde a cada elemento de união utilizado, como está mostrado na figura 4.2. Observe na figura, que o nível hierárquico com menor índice (1) é definido para aquele elemento que será primeiramente liberado ao ser retirado o elemento de união e assim sucessivamente. Para comparar os sentidos de desmontagem será utilizado então, a seguinte forma:

Para subconjunto de 1 até n

Se  $S_n = S_{n-1}$

então

cont = 0

senão

cont =1

contador =  $\sum$  cont

$D_{dhs} = \frac{\text{contador}}{NH-1}$

$$DDHs = \sum_{i=1}^n D_{dhs} \quad (3)$$

onde:

$S_n$ = sentido de desmontagem do nível n;

$S_{n-1}$ = sentido de desmontagem do nível n-1;

$D_{dhs}$ = dificuldade de desmontagem do subconjunto pela mudança de sentido;

NH = número de níveis hierárquicos;

DDHd= soma da dificuldade de desmontagem pela mudança de sentido;

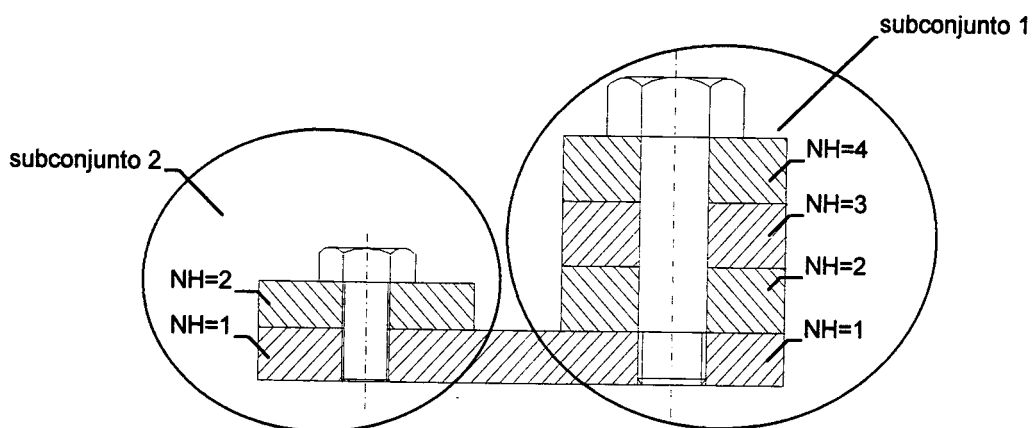


Fig. 4.2 - Exemplos de subconjuntos, utilizados no modelo.

– direção de desmontagem

para avaliação da dificuldade de desmontagem produzido pelas diferentes direções de desmontagem será estabelecido um contador que somará o valor 1 a cada diferente direção de desmontagem. Por exemplo o componente 01 é desmontado na direção horizontal e o componente 02 é desmontado na direção vertical, portanto possuem direções de desmontagem diferentes, assim será acrescido o valor 1 ao contador. Após realizar todas as comparações, o valor contido no contador será dividido pelo número de níveis hierárquicos (NH) -1, uma vez que o número comparações realizadas é (n-1). Essas comparações serão realizadas, inicialmente para cada subconjunto e posteriormente será determinada soma de todos os subconjuntos, de acordo com a expressão (4). Para comparar as direções de desmontagem será utilizado então a seguinte forma :

Para subconjunto de 1 até n

Se  $D_n = D_{n-1}$

então

cont = 0

senão

cont = 1

contador =  $\sum$  cont

$$Ddhd = \frac{\text{contador}}{NH - 1}$$

$$DDHd = \sum_{i=1}^n Ddhd \quad (4)$$

onde:

$D_n$  = direção de desmontagem do nível  $n$ ;

$D_{n-1}$  = direção de desmontagem do nível  $n-1$ ;

$Ddhd$  = dificuldade de desmontagem do subconjunto pela mudança de direção;

$NH$  = número de níveis hierárquicos;

$DDHd$  = soma da dificuldade de desmontagem pela mudança de direção;

A dificuldade de desmontagem então, produzida pela relação hierárquica entre os componentes será obtida através da média das expressões (3) e (4), obtendo-se assim a expressão (5):

$$DDH = \frac{DDHd + DDHs}{2} \quad (5)$$

Finalmente o índice de desmontagem para cada solução de projeto, será obtido através da soma das expressões (1), (2) e (5), resultando na expressão (6).

$$ID = IC + DDU + DDH \quad (6)$$

O valor obtido para o índice de desmontagem de um determinado produto será sempre maior que 0, sendo que, quanto maior o valor obtido pela solução, pior será a sua desmontagem.

Observa-se que o índice de desmontagem, representa o valor global do projeto, mas o modelo fornecerá individualmente o valor para, o valor da dificuldade de desmontagem das uniões e a dificuldade produzida pela hierarquia dos componentes. Também será fornecido pelo modelo as seguintes relações:

– Número de Uniões (NU)/Número de componentes (NC);

- Número de Materiais (NM)/Número de componentes (NC);
- Número Máximo de Níveis Hierárquicos (NH)/Número de componentes (NC);
- Dificuldade de Desmontagem das Uniões (DDU)/Número de Uniões (NU);
- Dificuldade de Desmontagem pela Hierarquia (DDH)/Número de Uniões (NU).

Quanto menor o valor dessas relações, mais otimizada é a solução de projeto sob o aspecto da desmontagem do mesmo.

Essas relações são importantes para o modelo no sentido de mostrarem pontos críticos no projeto, pois mesmo obtendo um menor valor para o índice de desmontagem (melhor projeto), as relações entre os vários parâmetros pode não ser a mais favorável.

Desta forma, possibilitando aos projetistas, melhorar ainda mais o projeto, na medida em que busquem alternativas para reduzir o valor de cada relação.

#### **4.3.2 - Estimativa do Custo de Desmontagem**

Desmontar um produto pode implicar nas seguintes etapas anteriores ao processo de desmontagem: coletar, separar e limpar, onde cada uma destas etapas terá um custo específico. Para o cálculo do custo de desmontagem, seria então necessário considerar o custo de cada uma das etapas. Observa-se a dificuldade de antever estes custos, em virtude dele variar em função do modelo de custos, utilizado por cada empresa e também pela estratégia utilizada pela mesma para realizar cada uma destas etapas. Observe-se a seguir algumas possibilidades diferentes para cada uma das etapas necessárias:

- coleta:
  - usar estrutura da empresa (pessoal e recursos físicos);
  - terceirizar o serviço de coleta;
  - utilizar sistema de postagem (correio).

Observe-se ainda, que os custos de coleta, estão fortemente vinculados as distâncias percorridas para buscar o produto.

- separação e limpeza:
  - usar a própria estrutura da empresa;
  - terceirizar o serviço.

Desta forma, o que se vai considerar para o modelo, são os custos diretos de desmontagem do produto, observando-se os tempos necessários e o custo de um operador para realizar a desmontagem. Serão utilizados então os seguintes tempos:

- Tempo de preparação (TP) - utilizado para seleção das ferramentas necessárias e organização do posto de trabalho;
- Tempo de desmontagem das uniões (TD) - corresponde ao tempo necessário para desmontar todas as uniões, correspondendo a soma dos tempos cadastrados na tabela União (o tempo cadastrado utiliza o segundo como unidade de medida de tempo). Para determinação de TD será empregada a expressão (7) com a seguinte rotina:

Para união de 1 até N

$$TD = \sum_{i=1}^n \text{temp\_desm} \quad (7)$$

onde: temp\_desm = tempo de desmontagem de cada elemento de união.

- Tempo de separação dos componentes (TS) - este tempo é necessário, pois verificou-se que o simples fato de retirar a união, não garante a separação dos componentes, necessitando assim de um esforço adicional. Será estimado que o tempo de separação dos componentes (TS), corresponde a 20% do tempo de desmontagem

Para estimativa do custo de desmontagem será utilizada a expressão (8):

$$CD = \left( \frac{TP}{tl} + TD + TS \right) * Cop \quad (8)$$

como  $TS = 0.2 * TD$  tem-se, então;



$$CD = \left( \frac{TP}{tl} + 1.2 * TD \right) * Cop \quad (9)$$

onde:

CD = custo de desmontagem por produto [R\$];

TP = tempo de preparação [min];

TD = tempo de desmontagem [min];

TS = tempo de separação [min];

tl = tamanho do lote de desmontagem;

Cop = custo do operador [R\$/min].

O usuário do modelo deverá então fornecer o valor do salário do operador, acrescido dos encargos e benefícios, e o tamanho do lote (tl - número de produtos a serem desmontados). Como o salário do operador é um valor mensal, o modelo deverá então obter o custo do operador dividindo o salário mais os encargos pelo número de minutos do mês, utilizando a expressão (10).

$$Cop = \frac{\text{salário}}{11880} \quad (10)$$

onde:

Cop = custo do operador [min];

salário = salário do operador + encargos [R\$/mês];

11880 = valor da transformação de mês para min, supondo 44 horas semanais, e um mês com 4.5 semanas.

As expressões (9) e (10) serão incorporadas ao modelo para determinação do custo de desmontagem.

### 4.3.3 - Estimativa do Custo de Reciclagem

Tal como acontece na desmontagem, o custo de reciclagem também varia com o modelo de custos adotado pela empresa e também, com a estratégia

utilizada para executar as várias etapas do processo. Desta forma o custo total de reciclagem será estimado da seguinte forma:

$$CTR = CC + CS + CD + CR \quad (11)$$

onde:

CTR= custo total de reciclagem [R\$];

CC = custo de coleta [R\$];

CS = custo de separação e limpeza [R\$];

CD = custo de desmontagem [R\$];

CR = custo de reciclagem [R\$].

#### 4.3.4 - Outras Informações Fornecidas pelo Modelo

Existe na base de dados, informações que não são tratadas diretamente no modelo de avaliação, mas que vão retornar ao projetista na forma de advertências para que as novas soluções de projeto sejam melhoradas e que a base de dados seja ampliada.

Para que isso ocorra, será incorporado ao modelo a seguinte rotina:

Para componente de 1 até N

se PROC\_FAB = retificação

então: Componente n com grande potencial de reutilização

se RECICLAB = N

então: Componente n utiliza material não reciclável. Procure substituir este material.

se COD\_MAT não existe

então: Componente n utiliza material não cadastrado. Por favor, introduza informações sobre o material na base de dados.

Existe na base de dados, a informação sobre o volume de cada componente e união, e o peso específico de cada material, essas informações serão utilizadas para determinar a massa total do produto, através da expressão (12):

$$m = \rho \ V \quad (12)$$

onde:

$m$  = massa [kg]

$\rho$  = peso específico [kg/m<sup>3</sup>]

$V$  = volume [m<sup>3</sup>]

Como na base de dados o volume está especificado com a unidade de mm<sup>3</sup>, já que é um valor fornecido pelo AutoCAD e também o peso específico do material é especificado em t/m<sup>3</sup>, torna-se necessário adequar as unidades. Portanto a expressão (13), já com as unidades de medidas adequadas, será incorporada no modelo.

$$m = \rho \ V \ 10^{-6} \quad (13)$$

Para determinação da massa do produto, serão necessárias as expressões (14) que calcula a massa de cada componente ( $m_c$ ), (15) que calcula a massa total dos componentes ( $M_c$ ), (16) que determina a massa de cada união ( $\mu_u$ ), (17) que determina a massa total de uniões ( $M_u$ ) e (18) que determina a massa total do produto ( $M_p$ ). Essas expressões estão incorporadas na rotina mostrada a seguir.

Para componente de 1 até N

$$m_c = \rho \ V \ 10^{-6} \quad (14)$$

$$M_c = \sum_{c=1}^n m_c \quad (15)$$

Para união de 1 até N

$$\mu_u = \rho \ V \ 10^{-6} \quad (16)$$

$$\mu_u = \sum_{u=1}^n \mu_u \quad (17)$$

$$\mu_p = \mu_c + \mu_u \quad (18)$$

#### 4.4 - ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS

Para organização da base de dados foram levantadas todas as informações relevantes para aplicação do modelo. Determinando-se assim, três tipos de dados:

- **informações aplicáveis a todas as soluções de projeto:** correspondem aos dados sobre materiais e elementos de união. A seguir são apresentadas as tabelas com as respectivas informações, nome do campo, tipo, tamanho da informação a ser incorporada à base de dados e o número de casas decimais (quando aplicável). As tabelas 4.1 e 4.2 apresentam respectivamente as informações sobre materiais e elementos de união.

Tabela 4.1 - Estruturação da base de dados de materiais.

Informação	Nome do campo	Tipo	Tamanho	Decimais
Código do material	COD_MAT	Caracter	8	
Descrição do material	DESCR_MAT	Caracter	50	
Custo de obtenção	CUSTO_OBT	Numérico	10	2
Reciclabilidade	RECICLAB	Lógico	1	
Custo de reciclagem	CUSTO_REC	Numérico	10	2
Peso específico	PESO_ESP	Numérico	8	2

Essas informações representam os seguintes dados:

- código de material - corresponde a um rótulo a ser utilizado pelo material, como por exemplo alumin01, alumin02 e aço1020;
- descrição do material - corresponde a descrição completa do material, ou qualquer informação adicional necessária;
- custo de obtenção - campo destinado a especificação do custo de obtenção de

cada material;

- reciclabilidade - este campo é utilizado para definir se o material é reciclável ou não;
- custo de reciclagem - definição do custo de reciclagem do material, se a reciclagem for possível;
- peso específico - neste campo deve-se especificar o peso específico de cada material cadastrado.

Tabela 4.2 - Estruturação da base de dados de elementos de união.

Informação	Nome do campo	Tipo	Tamanho	Decimais
Código da união	COD_UNIAO	Caracter	8	
Descrição da união	DESCR_UN	Caracter	50	
Volume	VOLUME	Numérico	8	2
Tempo de desmontagem	TEMPO_DESM	Numérico	10	2
Código do material	COD_MAT	Numérico	8	
Dificuldade de desmontagem	DIFIC_DESM	Numérico	10	2

A cada campo estão associadas as seguintes informações:

- código da união - nesse campo deve-se definir um código para a união cadastrada, por exemplo parafm10, existe a necessidade de codificar a união, pois o DBASE III, só lê na chave primária até oito caracteres;
- descrição da união - este campo deve ser utilizado para adicionar informações sobre o elemento de união (Parafuso M10 L50);
- volume - deve-se especificar neste campo o volume do componente. Inicialmente, pretendia-se registrar diretamente o peso do componente, mas verificou-se que o AutoCAD não dispõe de uma variável para definir o peso específico do material, então o projetista deve fornecer o volume, usando a unidade de  $\text{mm}^3$ , fornecida pelo AutoCAD;
- tempo de desmontagem - deve ser especificado para cada elemento de união, o tempo de desmontagem medido para o mesmo;
- código de material - nesse campo deve ser especificado, o material da união, usando o mesmo rótulo utilizado na tabela de materiais, para o material correspondente;
- dificuldade de desmontagem - deve-se preencher este campo com a dificuldade

de desmontagem, determinada para cada elemento de união.

- **informações geradas a partir de cada solução de projeto:** compõem esta base de dados, as informações relativas as especificações do projeto, tais como componentes, uniões utilizadas e hierarquia dos componentes. Para cadastrar esses elementos foram estruturadas as tabelas 4.3, 4.4 e 4.5 para compor a base de dados.

Tabela 4.3 - Estruturação da base de dados de componentes do projeto.

Informação	Nome do campo	Tipo	Tamanho	Decimals
Código do projeto	COD_PROJ	Caracter	8	
Código do componente	COD_COMP	Caracter	8	
Descrição do componente	DESCR_COMP	Caracter	50	
Processo de fabricação	PROC_FABR	Caracter	10	
Código do material	COD_MAT	Caracter	8	
Volume	VOLUME	Numérico	8	2
Direção de desmontagem	DIREÇÃO	Caracter	1	
Sentido de desmontagem	SENTIDO	Caracter	1	

As informações contidas nessa tabela, serão fornecidas pelo projetista e têm os seguintes significados:

- código do projeto: identifica o projeto que será avaliado, por exemplo P01\_1 (projeto 01 solução 1);
- código do componente - nesse campo deve-se definir um código para o componente cadastrado, por exemplo C001, C002 (componente 001, componente 002);
- descrição do componente - este campo deve ser utilizado para adicionar informações sobre o componente do projeto;
- processo de fabricação: campo utilizado para especificar o processo de fabricação do componente cadastrado;
- código de material - nesse campo deve ser especificado, o material do componente, usando o mesmo rótulo utilizado na tabela de materiais, para o material correspondente;
- volume - deve-se especificar neste campo o volume do componente (mm<sup>3</sup>).
- sentido de desmontagem - ao cadastrar o componente, o projetista deverá

fornecer o sentido de desmontagem do mesmo, são cadastráveis os seguintes sentidos: para cima (C), para baixo (B), para esquerda (E) e para direita (D);

- direção de desmontagem - esta informação define a direção de desmontagem e são possíveis duas direções de desmontagem: horizontal (H) e vertical (V).

O projetista deverá cadastrar ainda, as informações sobre as uniões utilizadas, para isso será utilizada a tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Estruturação da base de dados uniões utilizadas no projeto

Informação	Nome do campo	Tipo	Tamanho	Decimais
Código do projeto	COD_PROJ	Caracter	8	
Identificação da união	ID_UNIAO	Caracter	30	
Código da união	COD_UNIAO	Caracter	8	

As informações contidas nesta tabela têm o seguinte significado;

- código do projeto - neste campo deve-se identificar o projeto que será avaliado, por exemplo P01\_1 (projeto 01 solução 1);
- identificação da união - esta informação representa, um rótulo a ser atribuído a cada união usada na projeto. Este dado é necessário, pois se o mesmo elemento de união for utilizado mais de uma vez, ele deverá ter identificação diferente para que o modelo de avaliação possa registrá-lo;
- código da união - neste campo deve-se utilizar o mesmo registro, utilizado na tabela união, pois é através desse valor que serão realizados os cálculos.

Caberá ao projetista cadastrar as informações sobre o posicionamento relativo dos componentes, esses dados serão definidos na tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Estruturação da base de dados da hierarquia dos componentes.

Informação	Nome do campo	Tipo	Tamanho	Decimais
Código do projeto	COD_PROJ	Caracter	8	
Identificação da união	ID_UNIAO	Caracter	8	
Código do componente	COD_COMP	Caracter	8	
Índice hierárquico	INDICE	Caracter	2	

As informações contidas nesta tabela, permitem que o modelo avalie a dificuldade de desmontagem produzida pelo posicionamento relativo do

componente, os dados representam:

- código do projeto - identifica o projeto que será avaliado, por exemplo P01\_1 (projeto 01 solução 1);
- código da união - neste campo deve ser especificado a união, que fixa o componente. O rótulo usado deve ser o mesmo utilizado na tabela União;
- código do componente - neste campo deve ser especificado o código do componente que está fixo pela união especificada no item anterior;
- índice hierárquico - neste campo deve ser definido a posição do componente na hierarquia de desmontagem, o componente que estiver mais livre em relação a união, ou seja, aquele que for liberado primeiro quando a união for retirada receberá índice igual a 1. Se todos os componentes forem liberados ao mesmo tempo, após a retirada do elemento de união, todos terão o mesmo valor para o índice hierárquico.

– **informações geradas pela avaliação de cada solução:** onde estarão armazenados os resultados da avaliação de cada solução de projeto. Essas informações estarão contidas na tabela 4.6 apresentada a seguir.

Tabela 4.6 - Estruturação da base de dados do projeto.

Informação	Nome do campo	Tipo	Tamanho	Decimais
Código do projeto	COD_PROJ	Caracter	8	
Descrição do projeto	DESCR_PROJ	Caracter	50	
Autor	AUTOR	Caracter	50	
Cliente	CLIENTE	Caracter	50	
Número de componentes	NUM_COMP	Numérico	10	
Número de uniões	NUM_UNIÕES	Numérico	10	
Número de materiais	NUM_MAT	Numérico	10	
Número de níveis	NUM_NIVEIS	Numérico	10	
Índice de desmontagem	IND_DESM	Numérico	10	
Custo de Desmontagem	CUST_DESM	Numérico	10	2
Custo de Reciclagem	CUST_R_T	Numérico	10	2

Aos elementos desta tabela estão associados os seguintes dados:

- código do projeto - informação que identifica o projeto avaliado e deve ter os mesmos caracteres de identificação, utilizado nas tabelas componentes, uniões/projeto e hierarquia;
- descrição do projeto - este campo está destinado as informações adicionais



sobre o projeto;

- autor - este campo deve conter a informação sobre a autoria do projeto;
- cliente - neste campo, deve ser registrado o destino do projeto;

Estes quatro primeiros itens são fornecidos pelo usuário do modelo de avaliação. Os itens seguintes são gerados pelo modelo de avaliação e serão apresentados na tela e em forma de relatório que pode ser impresso.

As várias tabelas que compõem a base de dados do modelo, terão o relacionamento apresentado na figura 4.3.

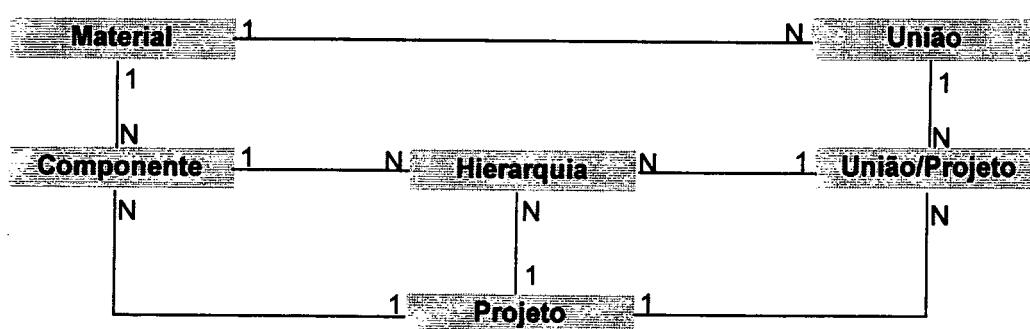


Fig. 4.3 - Diagrama de entidade e relacionamento (E/R).

#### 4.4.1 - Incorporação das Informações à Base de Dados

A base de dados de materiais e elementos de união, possuem dados externos ao projeto e é nessa base de dados que serão buscadas as informações a serem tratadas pelo modelo.

Para efeito de aplicação do modelo serão cadastrados os materiais e elementos de união utilizados no projeto-exemplo descrito no próximo capítulo.

O cadastramento das informações de tempo de desmontagem e dificuldade de desmontagem necessitaram da definição de procedimentos específicos para geração dos valores. Esses procedimentos descritos a seguir devem ser utilizados no cadastramento de novos elementos de união.

#### **4.4.1.1 - Procedimento para determinação do tempo de desmontagem**

Determinar o tempo de desmontagem, implica na determinação dos movimentos necessários para que a mesma aconteça. Barnes [27] descreve os seguintes movimentos fundamentais da mão: buscar, selecionar, agarrar, transporte vazio, transporte carregado, segurar, soltar, pré colocar, inspecionar, montar, desmontar, usar, demora inevitável, demora evitável, planejar e repouso para eliminar fadiga.

Utilizando a terminologia de Barnes, a operação de desmontagem manual de um elemento de união envolve os seguintes movimentos por ordem de ocorrência:

- selecionar - escolher um objeto dentre os demais do grupo. Para a desmontagem, o operador deverá selecionar entre as várias ferramentas a que deverá ser utilizada na desmontagem;
- agarrar - estabelecer o controle sobre um objeto, fechando entre os dedos como preparação para levantá-lo, segurá-lo ou manipulá-lo. Corresponde ao movimento de colocar a mão sobre a ferramenta de desmontagem;
- segurar - reter o objeto, depois de agarrá-lo, mas sem movimentá-lo;
- transporte carregado - movimento de um objeto de um lugar para o outro. Trazer a ferramenta próxima à posição de desmontagem;
- posicionar - ajustar o objeto de tal modo que ele se oriente convenientemente para se adaptar ao local destinado. Para a desmontagem significa ajustar a ferramenta ao elemento de união;
- usar - manipular uma ferramenta, um dispositivo ou parte de um aparelho com o objetivo para o qual foi planejada. Para a operação significa desmontar o elemento de união;
- soltar - relaxar o controle sobre um objeto. Liberar a ferramenta.

Como o resultado desejado é a medição do tempo do ciclo completo, ou seja, da fase da busca da ferramenta até a liberação da mesma, após a desmontagem do elemento, não foram medidos os tempos individuais de cada movimento, mas apenas o tempo global de toda a operação de desmontagem. Para isso foi montado um posto de trabalho como o que está esquematicamente

apresentado na figura 4.4.

No posto de trabalho foram colocadas as várias ferramentas necessárias para a execução de diferentes desmontagem, garantindo dessa forma que o operador selecionasse entre as várias ferramentas aquela que se adequava ao elemento de união a ser desmontado. Para a montagem do posto de trabalho, foram observados os raios de alcance dos braços do operador de acordo com lida [28].

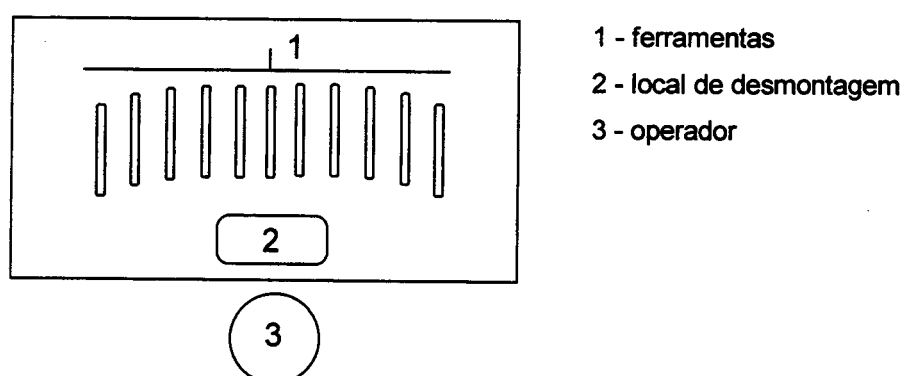


Fig. 4.4 - Esquema do posto de trabalho para medições do tempo de desmontagem.

Foram realizadas as medições para cada elemento de união a ser cadastrado na base de dados e os resultados obtidos estão apresentados na tabela 4.7. O tempo médio determinado para cada elemento de união foi incorporado à base de dados União.

Tabela 4.7 - Determinação dos tempos de desmontagem dos elementos de união.

Código da União	Medições de tempo (s)																				Tempo Médio (s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
PPD3L8	7,6	7,9	8,5	7,0	7,2	7,7	9,5	8,3	7,9	8,4	8,2	7,4	7,0	7,0	8,0	7,6	8,0	7,7	7,7	7,5	7,8
PRE01X3	2,9	2,8	3,6	2,8	3,1	3,6	1,9	1,7	1,7	3,0	2,5	2,4	2,1	3,1	3,8	2,8	3,0	2,4	2,1	2,5	2,7
PRE02X4	3,5	5,5	5,2	5,5	3,2	3,6	3,5	3,6	4,8	4,3	3,6	3,8	5,4	2,8	3,2	3,9	4,2	2,7	3,7	2,8	3,9
PFD4.5PS	12,9	12,2	13,3	13,5	10,7	15,9	11,8	15,2	10,0	13,7	13,6	13,0	11,0	10,5	14,1	10,5	10,9	12,2	14,1	11,2	12,5
REBD4	7,1	6,1	4,9	4,1	4,6	4,1	3,4	3,1	3,5	4,7	3,4	4,9	3,6	4,3	4,6	3,6	4,6	3,9	5,3	3,6	4,4
RCD12PS	9,6	8,9	8,3	9,0	7,1	10,1	13,3	12,0	9,6	8,4	10,3	9,3	8,7	8,9	10,4	8,5	10,3	8,1	10,7	7,9	9,5
ABRPL23	7,5	5,9	4,7	6,3	4,3	3,0	4,5	6,3	7,4	4,3	5,3	5,1	3,3	3,0							5,1
PFD3PS	11,3	8,3	9,4	10,7	7,7	8,5	9,3	8,8	8,8	7,7	7,4	8,1	7,9	9,2	8,9	7,5	5,3	7,5	5,5	8,5	8,3
PIPLD3.5	4,3	4,2	3,4	2,5	4,3	3,9	4,3	3,5	3,5	2,1	4,1	4,2	3,0	3,5	2,6	2,2	2,1	2,6	2,1	2,1	3,2
PFD6.5PS	8,9	9,0	7,6	8,7	8,0	7,7	7,3	7,7	8,1	8,5	7,9	7,8	8,3	8,6	9,1	8,8	7,6	7,2	8,5	8,1	8,2

#### 4.4.1.2 - Determinação da dificuldade de desmontagem

A dificuldade de desmontagem compõe um dos parâmetros do modelo de avaliação. Para que se obtenha um valor para a dificuldade de desmontagem do projeto é necessário que se defina este valor para cada elemento de união. Este valor será obtido experimentalmente, utilizando-se a lista de verificação apresentada a seguir:

##### Lista de Verificação da Dificuldade de Desmontagem do Elemento de União

Código da União: \_\_\_\_\_

Descrição da União: \_\_\_\_\_

Possibilidade de Desmontagem:	Sim	Não
-------------------------------	-----	-----

Se não existir possibilidade de desmontagem do elemento de união, então **Dificuldade de Desmontagem = 1**

Número de ferramentas necessárias:	0	1	2	3 ou +
Número de posições para encaixar a ferramenta no elemento de união:	+ de 3	3	2	1
Acionamento da ferramenta:	Manual			Automática*
Precisão dos movimentos da mão **	sem precisão	pouco preciso	preciso	muito preciso
Número de movimentos necessários para a desmontagem ***	1	2	3	4 ou +
Número de vezes que a coluna foi assinalada (NV)	x 1	x2	x3	x4
Total de pontos por coluna (NV x P)				
Total geral (somatório do número total de pontos obtido em cada coluna)				

##### Definição da Dificuldade de Desmontagem:

Total Geral	Dificuldade de Desmontagem
5	0.2
6 a 10 pontos	0.4
11 a 15 pontos	0.6
16 a 20 pontos	0.8

\* a forma de acionamento automática, dificulta a montagem do posto de trabalho, pois necessita de uma fonte de energia para o acionamento.

\*\* Precisão dos movimentos da mão:

**muito preciso** - necessidade de posicionar os dedos em três ou mais pontos específicos da união para executar a desmontagem. Nesta situação, normalmente não se utiliza nenhuma ferramenta;

**preciso** - necessidade de posicionar os dedos em dois pontos específicos do elemento de união;

**pouco preciso** - necessidade de posicionar os dedos em um ponto específico do elemento de união;

**sem precisão** - a mão é utilizada apenas para manipular a ferramenta.

\*\*\* movimentos de desmontagem: encaixar, girar, apertar, empurrar, puxar, soltar.

A aplicação desta lista de verificação, para cada elemento de união está apresentada no Anexo 1.

Para efeitos de aplicação do modelo, foram cadastradas as uniões apresentadas na tabela 4.8, com as respectivas informações anexadas à base de dados.

Tabela 4.8 - Banco de dados de uniões.

COD_UNIAO	DESCR_UN	VOLUME	TEMPO_DESM	COD_MAT	DIFIC_DESM
ABRPL23	Abraçadeira plastica 23mm	371.25	5,1	PEAD	0.6
BRASTN	Brasagem com estanho	0	0	STN01	1
PFD3PS	Parafuso c/fenda d=3mm l=12 c/ porca sextavada	203,65	8,3	ACO1020	0.6
PFD4.5PS	Paraf. cabeça com fenda d=4.5mm l=50mm porca sext.	996,57	12,5	ACO1020	0.6
PFD4PS	Paraf. c/fenda d=4mm l=45mm c/porca sextavada	440.41	8,2	ACO1020	0.6
PIPLD3.5	Pino plástico d=3,5mm l=12mm Cabeça redonda		3,2	PEAD	0.6
PPD3L8	Parafuso Phillips d=3mm l=8mm	54.19	7.8	ACO1020	0.6
PRE01X3	03 Presilhas moldadas em objeto pequeno (snap-fit)	1327.68	2.7	PEAD	0.4
PRE02X4	04 Presilhas moldadas em objeto pequeno (snap-fit)	249.6	3.9	PEAD	0.4
RCD12PS	Rosca no objeto d=12mm l=6mm c\ porca sextavada	143,38	9.5	PEAD	0.6
REBD4	Rebite d=4 mm l=8 mm	89,5	4,4	ALUM01	0.6
SLDPT	Solda Ponto	0	0		1

Para o banco de dados de materiais foram cadastradas os materiais e

as informações correspondentes apresentados na tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Base de dados de materiais.\*[29]

COD_MAT	DESCR_MAT	CUSTO_OBT	RECICLAB	CUSTO_REC	PESO_ESP
ACO 1020	Aço ABNT 1020	1.00*	sim		7.8
ALUM01	Alumínio	4,00*	sim		2.8
BORRA01	Borracha				
PC	Polycarbonato	6.0*	sim		1.2
PEAD	Polietileno de Alta Densidade	1.5*	sim		0.95
STN01	Estanho				
Vários	Peça composta por dois ou + mat				

## 4.5 - ESTRUTURAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO

Estão descritos a seguir os elementos da programação de interface com o usuário.

O sistema desenvolvido como aplicativo para Windows, recebeu o nome de AVADE - Avaliação da Desmontagem.

Ao iniciar o aplicativo é mostrado ao usuário uma tela de apresentação que contém a identificação do *software* e uma barra de *status* que mostra o andamento do carregamento do mesmo na memória do computador.

O aplicativo dispõe de uma estrutura com várias janelas que vão se abrindo a medida que os comandos vão sendo acionados. Esta estrutura é denominada MDI (Multiple Document Interface), onde se dispõe de uma janela principal denominada “pai” que abriga as janelas secundárias, chamadas de “filhas”. As janelas filhas, nunca assumem dimensão maior que a janela pai.

Quando o aplicativo é carregado, apresenta-se então a janela principal, como a que está mostrada na figura 4.5. Esta janela contém o menu principal e uma barra de navegação (*navigator*) que encontra-se desabilitada, até que uma janela de banco de dados seja aberta. Através do menu principal são acessados os itens de menu.

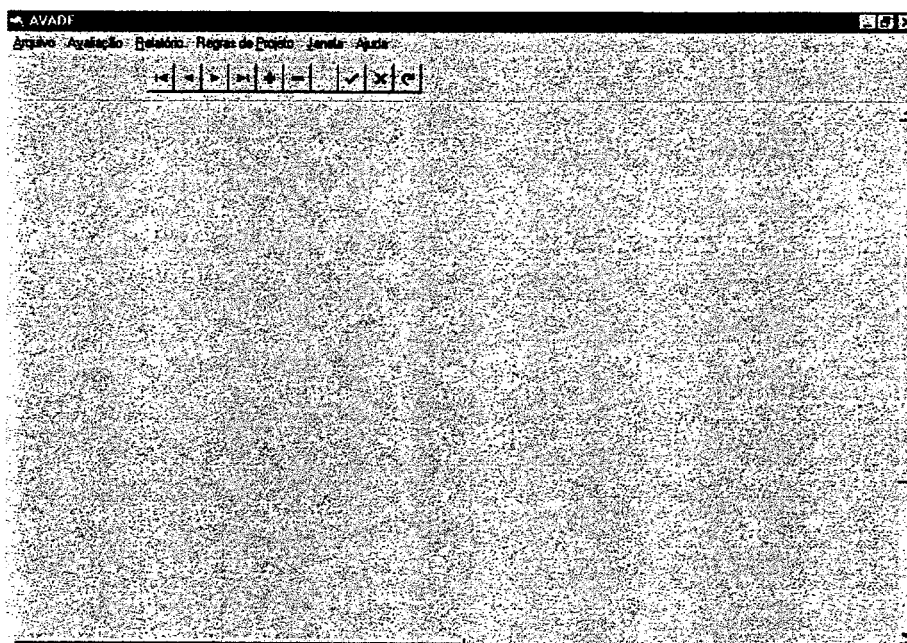


Fig. 4.5 - Janela principal do *software* AVADE.

Foram estruturados os seguintes itens de menu:

- **Arquivo** - este item de menu permite acessar as várias bases de dados;
- **Avaliação** - contém os comandos utilizados na avaliação do projeto;
- **Relatório** - permite ao usuário, obter relatórios pertinentes a avaliação do projeto;
- **Princípios de Projeto** - através deste item de menu, o usuário pode consultar as princípios de projeto para desmontagem;
- **Janela** - apresenta as possibilidades de organização das várias janelas abertas;
- **Ajuda** - apresenta informações sobre o *software* e onde pretende-se implementar o manual de utilização.

O menu Arquivo contém os seguintes itens de menu:

- **União** - quando este item de menu é acionado, abre a janela do banco de dados das uniões, permitindo ao usuário consultar os elementos já cadastrados e também incorporar ou excluir informações da base de dados. A janela União tem a configuração apresentada na figura 4.6. Enquanto a janela União estiver aberta o item de menu União é desabilitado, impedindo que a janela seja aberta duas vezes;

Uniao			
COD_UNIAO	DESCR_UN		
PFD3PS	Parafuso c/tenda d=3mm l=12 c/ porca sextavada		
TEMPO_DESM	VOLUME	COD_MAT	DIF_DESM
8.3	203.65	Aço 1020	0.6
DESCR_MAT			
Aço ABNT 1020			

Fig. 4.6 - Janela União.

- **Material** - ao acionar este item de menu, abre-se a janela Material que possibilita ao usuário realizar consultas sobre os materiais cadastrados na base de dados. Também é disponível para o usuário a possibilidade de anexar ou excluir informações de materiais à base de dados. A janela Materiais tem a configuração apresentada na figura na figura 4.7;

Material	
COD_MAT	DESCR_MAT
Aço 1020	Aço ABNT 1020
CUSTO_OBT	PESO_ESP
1	7.8
<input checked="" type="checkbox"/> RECICLIB	CUSTO_REC

Fig. 4.7 - Janela Materiais.

- **Projeto** - quando acionado, este item de menu abre a janela Projeto, como a que está apresentada na figura 4.8 que permite registrar informações gerais sobre o projeto a ser avaliado;

Projeto	
COD_PROJ	DATA
FASA	01/07/97
DESCR_PROJ	
Estabilizador de tensão, Ve=220V Vs=110/220V P=800w	
AUTOR	
CLIENTE	
Empresa A	
Empres	

Fig. 4.8 - Janela Projeto.



- **Componentes** - este item de menu, quando acionado abre a janela de mesmo nome que está apresentada na figura 4.9, permitindo ao usuário, consultar a lista de componentes utilizados num projeto especificado. O cadastramento de componentes é feito através do sistema CAD;

The 'Componente' window contains the following fields and values:

COD_PROJ	PROJ
PASA	PASA
COD_COMP	DESCR_COMP
C01	Tampa
VOLUME	PROC_FABR
	Estampagem
DIRECAO	SENTIDO
C	V
COD_MAT	DESCR_MAT
AC01020	Ac ABNT 1020

Fig. 4.9 - Janela Componentes.

- **Unões do Projeto** - ao acionar este item de menu, a janela de Unões do Projeto é aberta, como esta apresentada na figura 4.10, mostrando ao usuário informações sobre as uniões utilizadas num projeto especificado, que foram cadastradas anteriormente através do sistema CAD;

The 'Unões do Projeto' window contains the following fields and values:

COD_PROJ	
PASA	
ID_UNIAO	COD_UNIAO
Paraf.01	PPD3L8

Fig 4.10 - Janela Unões do Projeto.

- **Hierarquia** - abre a janela Hierarquia, que está mostrada na figura 4.11, apresentado as informações sobre as hierarquias dos componentes de um projeto especificado, que foram fornecidas anteriormente, através do sistema CAD;

Hierarquia		
COD_PROJ		
PASA		
ID_UNIAO	COD_COMP	INDICE
Paraf.01	C01	1

Figura 4.11 - Janela Hierarquia.

- **Sair** - este item de menu permite ao usuário, fechar o aplicativo. Ao acionar o comando será perguntado ao usuário se ele realmente deseja sair da aplicação. O aplicativo também pode ser fechado usando o “X” contido no topo direito da janela principal. Todas as informações serão gravadas na base de dados.

O menu Avaliação contém os seguintes itens de menu:

- **Índice de desmontagem** - Quando este item de menu é acionado abre-se uma janela, como a que está mostrada na figura 4.12, solicitando que o usuário indique o projeto a ter o índice de desmontagem calculado, após identificar o projeto, o usuário deve pressionar o ícone da janela, para que os cálculos sejam realizados e os resultados são apresentados na própria janela.

Índice de Desmontagem	
Código do Projeto:	pa
Número de Componentes (Nc):	
Número de Uniões (Nu):	
Número de Materiais (Nm):	
Número Máximo na Hierarquia (Nh):	
Dificuldade de Desm. Uniões (DDu):	
Dificuldade de Desm. Hierarquia (DDh):	
Índice de Desmontagem (ID):	
<b>Relações</b>	
Nu/Nc:	
Nm/Nc:	
Nh/Nc:	
DDu/Nu:	
DDh/Nu:	

Fig. 4.12 - Janela Índice de Desmontagem.

- **Custo de Reciclagem** - Este item ainda não está implementado no sistema.
- **Custo de Desmontagem** - Quando este item de menu é acionado, uma janela é aberta, como a que está apresentada na figura 4.13, solicitando ao usuário que identifique o projeto a ser avaliado, o tempo de preparação para a desmontagem, o salário do operador e o tamanho do lote previsto para a desmontagem. Após fornecer todos estes dados, o usuário deve acionar o ícone de execução e em seguida serão apresentados os resultados.

Fig. 4.13 - Janela Custo de Desmontagem.

O menu Relatório apresenta os seguintes itens de menu:

- **União** - que possibilita ao usuário visualizar e imprimir todas as informações contidas na base de dados União;
- **Material** - que possibilita ao usuário visualizar e imprimir todas as informações contidas na base de dados Material;
- **Projeto** - que possibilita ao usuário visualizar e imprimir todas as informações contidas na base de dados de um projeto específico;
- **Componentes** - apresenta a relação dos componentes cadastrados para um projeto específico, permitindo ao usuário, consultar e/ou imprimir o relatório;
- **Unões do Projeto** - apresenta a relação das uniões cadastrados para um projeto específico, permitindo ao usuário, consultar e/ou imprimir o relatório;
- **Regras** - apresenta todas as regras de projeto para desmontagem, permitindo ao usuário, consultar e/ou imprimir todas as princípios.

O menu Regras de Projeto, permite ao usuário consultar os princípios de projeto que foram agrupadas nos seguintes itens de menu:

- **Função** - apresenta ao usuário os princípios de projeto que interferem na função do produto;
- **Materiais** - apresenta ao usuário os princípios de projeto que interferem na seleção de materiais para o projeto;
- **Desmontagem** - apresenta ao usuário os princípios de projeto que facilitam a desmontagem do produto.

O menu Janela permite ao usuário organizar as várias janelas abertas. Estão disponíveis as seguintes opções como itens de menu:

- **Em cascata** - organiza as janelas de forma sobreposta;
- **Lado a Lado** - redimensiona e organiza as janelas uma ao lado da outra. Estão disponíveis as opções: horizontal e vertical;
- **Fechar Todas** - permite ao usuário, fechar todas as janelas de uma única vez.

## **CAPÍTULO 5 - APLICAÇÃO DO MODELO**

### **5.1 - SELEÇÃO DO PROJETO EXEMPLO**

Para aplicação do modelo foram selecionados dois estabilizadores de tensão produzidos por fabricantes diferentes, denominados aqui de produto A e produto B.

O produto A tem as seguintes especificações:

Potência: 800 VA

Tensão de Entrada: 220 V

Tensão de Saída: 110/220 V

O produto B apresenta as seguintes especificações:

Potência: 1000 VA

Tensão de Entrada: 220 V

Tensão de Saída: 110 V

Mesmo tendo especificações um pouco diferentes, os dois produtos são conceitualmente muito parecidos, pois são utilizados para a mesma função, estabilizar tensão. A similaridade dos exemplos deve-se a necessidade de comparação dos resultados obtidos para a seleção da melhor solução.

### **5.2 - AVALIAÇÃO DO PRODUTO A**

Inicialmente o produto A foi desenhado no *software* AutoCAD R13, utilizando o modelamento sólido para que se obtivesse uma melhor visualização do mesmo e também para que fosse possível obter diretamente o volume de cada componente. O produto A está apresentado em vista explodida na figura 5.1 e também no Anexo 2.

Após a execução dos desenhos, fez-se o cadastramento dos componentes, uniões do projeto e hierarquia dos componentes do Projeto A, utilizando a sequência apresentada no Anexo 3 e cuja base de dados são,

respectivamente as tabelas 5.1, 5.2 e 5.3.

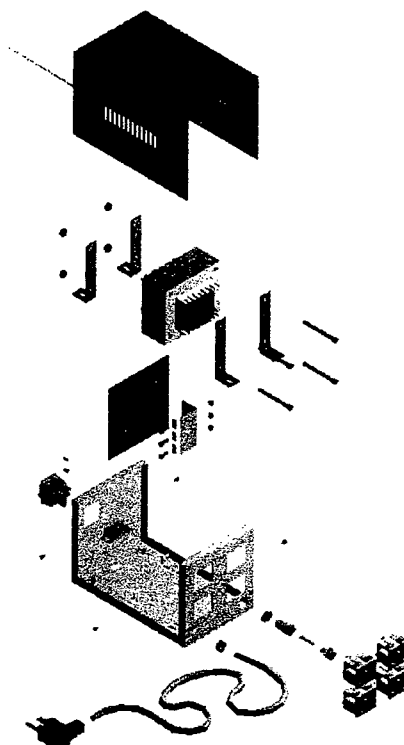


Fig 5.1- Representação do produto A.

Tabela 5.1 - Cadastramento dos componentes do projeto A.

Cód_Proj	Cód_Comp	Descr_Comp	Proc_Fabr	Cod_Mat	Volume	Direcao	Sentido
ProjetoA	C01	Tampa	Estampagem	ACO1020	57910.76	C	V
ProjetoA	C02	Caixa	Estampagem	ACO1020	48981.04	B	V
ProjetoA	C03	Chave sel. de tensão	Vários	Vários	-	B	V
ProjetoA	C04	Estojo do fusível	Injecao	PEAD	2753.74	E	H
ProjetoA	C05	Interruptor	Injecao	PEAD	2385.85	D	H
ProjetoA	C06	Circuito Eletronico	Varios	Varios	-	C	V
ProjetoA	C07	Trocador de Calor	Extrusao	ALUM01	2268,38	D	H
ProjetoA	C08	Tomada01	Injecao	PEAD	10616.64	E	H
ProjetoA	C09	Tomada02	Injecao	PEAD	10616.64	E	H
ProjetoA	C10	Tomada03	Injecao	PEAD	10616.64	E	H
ProjetoA	C11	Tomada04	Injecao	PEAD	10616.64	E	H
ProjetoA	C12	Suporte do Circ.	Estampagem	ACO1020	194,10	-	-
ProjetoA	C13	Suporte do Transf.	Estampagem	ACO1020	2034,47	C	V
ProjetoA	C14	Suporte do Transf.	Estampagem	ACO1020	2034,47	C	V
ProjetoA	C15	Suporte do Transf.	Estampagem	ACO1020	2034,47	C	V
ProjetoA	C16	Suporte do Transf.	Estampagem	ACO1020	2034,47	C	V
ProjetoA	C17	Suporte do Circ.	Estampagem	ACO1020	194,10	-	-
ProjetoA	C18	Anel de borracha	Injecao	BORRA01	916,69	E	H
ProjetoA	C19	Tranformador	Varios	ACO1020	300635.2	C	V
ProjetoA	C20	Cabo	Varios	Varios	-	E	H

Continuação

ProjetoA	C21	Plug	Varios	Varios	-	E	H
ProjetoA	C22	Lead01	Injecao	Acrilato	55.0	D	H
ProjetoA	C23	Lead02	Injecao	Acrilato	55.0	D	H

Os dados da tabela 5.2 são necessários para que o sistema identifique cada união utilizada no projeto, por isso a cada união é atribuído um identificador que deve ser relacionado como o código da união.

Tabela 5.2 - Uniões utilizadas no Projeto A.

Cod_Proj	Id_Uniao	Cod_Uniao
ProjetoA	PARAF1	PPD3L8
ProjetoA	PARAF2	PPD3L8
ProjetoA	PARAF3	PPD3L8
ProjetoA	PARAF4	PPD3L8
ProjetoA	PARAF5	PPD3L8
ProjetoA	PARAF6	PPD3L8
ProjetoA	REB01	REBD4
ProjetoA	REB02	REBD4
ProjetoA	ROSCANOCORPO	RCD12PS
ProjetoA	PRES01	PRE02X4
ProjetoA	PRES02	PRE01X3
ProjetoA	PRES03	PRE01X3
ProjetoA	PRES04	PRE01X3
ProjetoA	PRES05	PRE01X3
ProjetoA	ABRA01	ABRPL23
ProjetoA	ABRA02	ABRPL23
ProjetoA	PARAF7	PFD3PS
ProjetoA	PARAF8	PFD3PS
ProjetoA	PARAF9	PFD3PS
ProjetoA	PARAF10	PFD4.5PS
ProjetoA	PARAF11	PFD4.5PS
ProjetoA	PARAF12	PFD4.5PS
ProjetoA	PARAF13	PFD4.5PS
ProjetoA	SOLDA1	SLDPT
ProjetoA	SOLDA2	SLDPT
ProjetoA	SOLDA4	BRASN
ProjetoA	SOLDA5	BRASN
ProjetoA	SOLDA6	BRASN
ProjetoA	SOLDA7	BRASN
ProjetoA	SOLDA8	BRASN
ProjetoA	SOLDA9	BRASN

A tabela 5.3 apresenta a relação hierárquica entre os componentes e as uniões do projeto A.

Tabela 5.3 - Hierarquia dos componentes no projeto A.

Cod_Proj	Id_Uniao	Cod_Comp	Índice
ProjetoA	PARAF1	C01	1
ProjetoA	PARAF1	C02	2
ProjetoA	PARAF2	C01	1
ProjetoA	PARAF2	C02	2
ProjetoA	PARAF3	C01	1
ProjetoA	PARAF3	C02	2
ProjetoA	PARAF4	C01	1
ProjetoA	PARAF4	C02	2
ProjetoA	PARAF5	C01	1
ProjetoA	PARAF5	C02	2
ProjetoA	PARAF6	C01	1
ProjetoA	PARAF6	C02	2
ProjetoA	REB01	C03	1
ProjetoA	REB01	C02	2
ProjetoA	REB02	C03	1
ProjetoA	REB02	C02	2
ProjetoA	ROSCANOCORPO	C04	1
ProjetoA	ROSCANOCORPO	C02	2
ProjetoA	PRES01	C05	1
ProjetoA	PRES01	C02	2
ProjetoA	ABRA01	C06	1
ProjetoA	ABRA01	C02	2
ProjetoA	ABRA02	C06	1
ProjetoA	ABRA02	C02	2
ProjetoA	SOLDA1	C12	1
ProjetoA	SOLDA1	C02	2
ProjetoA	SOLDA2	C17	1
ProjetoA	SOLDA2	C02	2
ProjetoA	PARAF7	C07	1
ProjetoA	PARAF7	C06	2
ProjetoA	PARAF8	C07	1
ProjetoA	PARAF8	C06	2
ProjetoA	PARAF9	C07	1
ProjetoA	PARAF9	C06	2
ProjetoA	PRE02	C08	1
ProjetoA	PRE02	C02	2
ProjetoA	PRE03	C09	1
ProjetoA	PRE03	C02	2
ProjetoA	PRE04	C09	1
ProjetoA	PRE04	C02	2
ProjetoA	PRE05	C10	1
ProjetoA	PRE05	C02	2
ProjetoA	REB03	C13	1
ProjetoA	REB03	C02	2
ProjetoA	REB04	C14	1
ProjetoA	REB04	C02	2
ProjetoA	REB05	C15	1
ProjetoA	REB05	C02	2
ProjetoA	REB06	C16	1
ProjetoA	REB06	C02	2
ProjetoA	PARAF10	C13	1
ProjetoA	PARAF10	C19	2



Continuação Tabela 5.3

ProjetoA	PARAF10	C15	3
ProjetoA	PARAF11	C13	1
ProjetoA	PARAF11	C19	2
ProjetoA	PARAF11	C15	3
ProjetoA	PARAF12	C14	1
ProjetoA	PARAF12	C19	2
ProjetoA	PARAF12	C16	3
ProjetoA	PARAF13	C14	1
ProjetoA	PARAF13	C19	2
ProjetoA	PARAF13	C16	3
ProjetoA	SOLDA3	C20	1
ProjetoA	SOLDA3	C08	2
ProjetoA	SOLDA4	C20	1
ProjetoA	SOLDA4	C09	2
ProjetoA	SOLDA5	C20	1
ProjetoA	SOLDA5	C10	2
ProjetoA	SOLDA6	C20	1
ProjetoA	SOLDA6	C11	2
ProjetoA	SOLDA7	C20	1
ProjetoA	SOLDA7	C01	1
ProjetoA	SOLDA8	C22	3
ProjetoA	SOLDA8	C02	2
ProjetoA	SOLDA8	C06	1
ProjetoA	SOLDA9	C22	3
ProjetoA	SOLDA9	C02	2
ProjetoA	SOLDA9	C06	1

Após o cadastramento de todas essas informações do Projeto A, o *software* AVADE foi acessado e foram obtidos os resultados apresentados a seguir. Os relatórios aqui apresentados foram copiados diretamente do *software*.

**Código: PA**

**Descrição: Estabilizador de tensão, Ve=220V, Vs=110/220V, P=800W**

**Autor:**

**Data: 02/09/97**

**Cliente: Empresa A**

**Número de Componentes = 23**

**Número de Uniões = 36**

**Número de Materiais = 7**

**Máxima Posição na Hierarquia = 3**

**Dificuldade de Desmontagem União = 24,2**

**Dificuldade de Desmontagem Hierarquia = 18**

**Índice de Desmontagem = 111,20**

**Relações:**

**NU/NC = 1,57**

**NM/NC = 0,3**

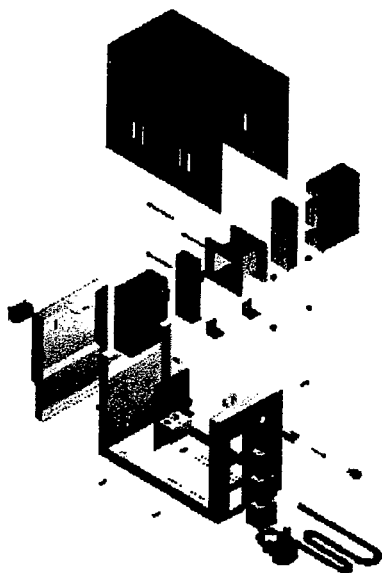
**NH/NC = 0,13**

**DDU/NU = 0,67**

**DDH/NU = 0,5**

### **5.3 - AVALIAÇÃO DO PRODUTO B**

Para o produto B, apresentado em vista explodida na figura 5.2 e também no Anexo 4, foram repetidos todos os passos descritos para o produto A e construiu-se a base de dados apresentadas nas tabelas 5.4, 5.5 e 5.6, listadas a seguir.



**Fig. 5.2 - Vista explodida do Produto B.**

Tabela 5.4 - Cadastramento dos componentes do Projeto B.

Cód_Proj	Cód_Comp	Descr_Comp	Proc_Fabr	Cod_Mat	Volume	Direcao	Sentido
ProjetoB	C01	Tampa	Estampagem	ACO1020	75713.36	C	V
ProjetoB	C02	Caixa	Estampagem	ACO1020	61568.39	B	V
ProjetoB	C03	Fachada	Injecao	PEAD	46431.49	E	H
ProjetoB	C04	Estojo do fusível	Injecao	PEAD	2753.74	E	H
ProjetoB	C05	Interruptor	Injecao	PEAD	2385.85	D	H
ProjetoB	C06	Circuito Eletronico	Varios	Varios	-	D	H
ProjetoB	C07	Tomada01	Injecao	PEAD	10616.64	D	H
ProjetoB	C08	Tomada02	Injecao	PEAD	10616.64	D	H
ProjetoB	C09	Tomada03	Injecao	PEAD	10616.64	D	H
ProjetoB	C10	Suporte do Transf.	Estampagem	ACO1020	409.19	C	V
ProjetoB	C11	Suporte do Transf.	Estampagem	ACO1020	409.19	C	V
ProjetoB	C12	Suporte do Transf.	Estampagem	ACO1020	409.19	C	V
ProjetoB	C13	Suporte do Transf.	Estampagem	ACO1020	409.19	C	V
ProjetoB	C14	Tranformador	Varios	ACO1020	300635.2	C	V
ProjetoB	C15	Cabo	Varios	Varios	-	D	H
ProjetoB	C16	Plug	Varios	Varios	-	D	H
ProjetoB	C17	Lead01	Injecao	Acrilato	55.0	E	H
ProjetoB	C18	Lead02	Injecao	Acrilato	55.0	E	H

Tabela 5.5 - Uniões utilizadas no Projeto B.

Cod_Proj	Id_Uniao	Cod_Uniao
ProjetoB	PIPL1	PIPLD3.5
ProjetoB	PIPL2	PIPLD3.5
ProjetoB	PIPL3	PIPLD3.5
ProjetoB	PIPL4	PIPLD3.5
ProjetoB	PIPL5	PIPLD3.5
ProjetoB	PIPL6	PIPLD3.5
ProjetoB	PIPL7	PIPLD3.5
ProjetoB	PIPL8	PIPLD3.5
ProjetoB	PIPL9	PIPLD3.5
ProjetoB	PIPL10	PIPLD3.5
ProjetoB	PIPL11	PIPLD3.5
ProjetoB	PIPL12	PIPLD3.5
ProjetoB	PIPL13	PIPLD3.5
ProjetoB	PIPL14	PIPLD3.5
ProjetoB	ROSCANOCORPO	RCD12PS
ProjetoB	PRES01	PRE02X4
ProjetoB	PRES02	PRE01X3
ProjetoB	PRES03	PRE01X3
ProjetoB	PRES04	PRE01X3

Continuação da Tabela 5.5

ProjetoB	REB01	REBD4
ProjetoB	REB02	REBD4
ProjetoB	REB03	REBD4
ProjetoB	REB04	REBD4
ProjetoB	PARAF1	PFD4PS
ProjetoB	PARAF2	PFD4PS
ProjetoB	SOLDA1	BRASTN
ProjetoB	SOLDA2	BRASTN
ProjetoB	SOLDA4	BRASTN
ProjetoB	SOLDA5	BRASTN
ProjetoB	SOLDA6	BRASTN

Tabela 5.6 - Hierarquia dos componentes do Projeto B.

Cod_Proj	Id_Uniao	Cod_Comp	Índice
ProjetoB	PIPL1	C01	1
ProjetoB	PIPL1	C02	2
ProjetoB	PIPL2	C01	1
ProjetoB	PIPL2	C02	2
ProjetoB	PIPL3	C01	1
ProjetoB	PIPL3	C02	2
ProjetoB	PIPL4	C01	1
ProjetoB	PIPL4	C02	2
ProjetoB	PIPL5	C01	1
ProjetoB	PIPL5	C02	2
ProjetoB	PIPL6	C01	1
ProjetoB	PIPL6	C02	2
ProjetoB	PIPL7	C01	1
ProjetoB	PIPL7	C02	2
ProjetoB	PIPL8	C01	1
ProjetoB	PIPL8	C02	2
ProjetoB	PIPL9	C03	1
ProjetoB	PIPL9	C02	2
ProjetoB	PIPL10	C03	1
ProjetoB	PIPL10	C02	2
ProjetoB	PIPL11	C03	1
ProjetoB	PIPL11	C02	2
ProjetoB	PIPL12	C03	1
ProjetoB	PIPL12	C02	2
ProjetoB	PRES01	C04	1
ProjetoB	PRES01	C03	2
ProjetoB	ROSCANOCORPO	C05	1
ProjetoB	ROSCANOCORPO	C02	2
ProjetoB	PIPL13	C06	1
ProjetoB	PIPL13	C02	2
ProjetoB	PIPL14	C06	1
ProjetoB	PIPL14	C02	2
ProjetoB	PRE02	C07	1
ProjetoB	PRE02	C02	2
ProjetoB	PRE03	C08	1
ProjetoB	PRE03	C02	2
ProjetoB	PRE04	C09	1

Continuação da Tabela 5.6

ProjetoB	PRE04	C02	2
ProjetoB	REB01	C10	1
ProjetoB	REB01	C02	2
ProjetoB	REB02	C11	1
ProjetoB	REB02	C02	2
ProjetoB	REB03	C12	1
ProjetoB	REB03	C02	2
ProjetoB	REB04	C13	1
ProjetoB	REB04	C02	2
ProjetoB	PARAF1	C13	1
ProjetoB	PARAF1	C14	2
ProjetoB	PARAF1	C11	3
ProjetoB	PARAF2	C10	1
ProjetoB	PARAF2	C14	2
ProjetoB	PARAF2	C12	3
ProjetoB	SOLDA1	C15	1
ProjetoB	SOLDA1	C07	2
ProjetoB	SOLDA2	C15	1
ProjetoB	SOLDA2	C08	2
ProjetoB	SOLDA3	C15	1
ProjetoB	SOLDA3	C09	2
ProjetoB	SOLDA4	C15	1
ProjetoB	SOLDA4	C16	1

Após o cadastramento de todas essas informações do Projeto B, o *software* AVADE foi acessado e foram obtidos os resultados apresentados a seguir. Os relatórios aqui apresentados foram copiados diretamente do *software*.

**Código: PB**

**Descrição: Estabilizador de tensão, Ve=220V, Vs=110V, P=800W**

**Autor:**

**Data: 02/09/97**

**Cliente: Empresa B**

**Número de Componentes = 18**

**Número de Uniões = 30**

**Número de Materiais = 6**

**Máxima Posição na Hierarquia = 3**

**Dificuldade de Desmontagem União = 19,20**

**Dificuldade de Desmontagem Hierarquia = 16,00**

**Índice de Desmontagem = 92,20**

**Relações**

**NU/NC = 1,67**

**NM/NC = 0,33**

**NH/NC = 0,17**

**DDU/NU = 0,64**

**DDH/NU = 0,53**

### **5.3 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS**

Os resultados obtidos da avaliação de cada solução de projeto e as relações percentuais entre as soluções estão apresentados na tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Comparação dos resultados.

PROJETO	ID	DDU	DDH	NU/NC	NM/NC	NH/NC	DDU/NU	DDH/NU
A	111,2	24,2	18,0	1,57	0,30	0,13	0,67	0,50
B	92,2	19,2	16,0	1,67	0,33	0,17	0,64	0,53
A/B[%]	20,6	26	12,5	- 16,0	- 9,0	- 24,0	4,6	- 5,7

A avaliação a ser realizada pelos projetistas, deve levar em conta os vários resultados, observando-se primeiramente o Índice de Desmontagem (ID), pois é este valor que exprime a maior ou menor dificuldade de desmontagem do produto, ressaltando que quanto menor o valor, maior será a facilidade de desmontagem do mesmo. Entretanto os outros valores devem ser considerados, pois fornecem indicações sobre melhorias que ainda podem ser realizadas para a solução escolhida.

Citando como exemplo, o projeto B que apresenta o menor índice de desmontagem (ID) em relação ao projeto A, mas o resultado da relação entre o número de uniões e o número de componentes (NU/NC) é maior, o que indica que existe a possibilidade de redução do número de elementos de união utilizados no

projeto, também a relação entre o número de materiais e o número de componentes (NM/NC) é maior, indicando que o número de materiais utilizados é desfavorável em relação ao projeto A. A relação entre o número de níveis hierárquicos e o número de componentes (NH/NC) também é maior, apontando uma outra possibilidade de melhoria no projeto B.

Desta forma, percebe-se que a avaliação deve levar em conta todos os resultados obtidos, principalmente para que dentro da alternativa selecionada, soluções sejam buscadas, para cada vez mais, minimizar o índice de desmontagem.

## **CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

O projeto para desmontagem apresenta-se como uma ferramenta indispensável na busca da ecologia industrial e que representa uma das saídas para o desenvolvimento sustentável. Através da desmontagem de produtos é que se torna possível a reutilização, recuperação e reciclagem das partes que compõem o mesmo.

Desenvolver uma ferramenta que avaliasse o produto com relação à desmontagem na fase de projeto, foi o objetivo maior deste trabalho. Uma vez que entende-se ser a fase de projeto aquela que mais influi em todo o percurso do produto ao longo de sua vida.

### **6.1 - VALIDADE DO MODELO**

Observando-se os requisitos estabelecidos para o modelo, no Capítulo 3, verifica-se que os mesmos foram atendidos, se não integralmente, mas da melhor maneira encontrada até o momento. Cabe salientar, que todos os índices e relações do modelo de avaliação foram desenvolvidos originalmente neste trabalho.

A transformação do modelo em um *software* deve-se ao fato de que existe um grande número de comparações a serem realizadas para a avaliação da desmontagem do produto, um trabalho monótono e repetitivo mais adequado às máquinas do que aos homens.

Uma vantagem verificada no sistema, é que após a composição do banco de dados muitas análises podem ser geradas a partir das informações contidas no mesmo. Isto possibilita diferentes avaliações para um projeto específico.



O *software* permite aos projetistas estarem constantemente atualizando a base de dados de materiais e elementos de união.

Para a aplicação do modelo, o projetista deve conhecer em detalhes a estrutura do produto, seus componentes e as relações com os elementos de união. A maior dificuldade observada na aplicação, está relacionada a necessidade do projetista ter que registrar todas as informações do produto na base de dados, uma vez que estes dados não são gerados automaticamente. Observa-se que a necessidade de se definir um rótulo diferente para cada elemento de união inserido no projeto e a definição das relações dos componentes com os elementos de união determinando a hierarquia dos mesmos tornaram-se a parte mais indesejável do sistema e que deve ser melhorada, para torná-lo mais eficaz.

A diversidade de elementos de união existentes e as suas formas de aplicação, foi um fato observado durante a realização do trabalho, tornando-se necessário que a base de dados de elementos união seja ampliada a cada novo projeto.

Cabe salientar, que a maioria dos projetos acontece por evolução. Desta forma, a aplicação do modelo é simplificada, devido a similaridade entre os projetos. Também, as empresas, em sua maioria, trabalham com famílias de produtos, facilitando assim, a aplicação do modelo.

Pretende-se continuar trabalhando no aperfeiçoamento do sistema, buscando soluções para os problemas detectados e incorporar novas análises relativas ao projeto de produto, objetivando obter o melhor desempenho da desmontagem do mesmo, pois o modelo hoje só é capaz de fazer uma análise global da desmontagem do produto e pretende-se definir uma ou mais peças alvo e o sistema deverá ser capaz de buscar o melhor caminho para desmontá-la.

## **6.2 - RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS**

O projeto de produto para o meio ambiente com as suas ramificações que são projeto para reciclagem e projeto para desmontagem são preceitos muito fortes na busca do desenvolvimento sustentável. Para a sua efetivação são necessárias ferramentas que auxiliem a equipe de projeto. A seguir estão apresentadas algumas sugestões para futuros trabalhos direcionados à busca da ecologia industrial:

- Estudo da desmontagem de produtos como oportunidade de negócios, uma vez que o reaproveitamento de produtos é uma das saídas para a ecologia industrial e isto deve ser feito de uma forma bastante eficaz;
- Estudo do potencial de reciclagem dos materiais, objetivando que a mesma seja realizada com os mínimos recursos possíveis e com o melhor aproveitamento do material;
- Estudo dos elementos de união, com relação aos parâmetros de desmontagem, para a geração de uma grande base de dados;
- Estudo dos vários processos de beneficiamento e produção de materiais para que se obtenham informações sobre os seus efeitos ao meio ambiente;
- Análise do ciclo de vida de produtos para se obtenham informações sobre os seus efeitos ao meio ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALTING, L., JORGENSEN, J., The Life Cycle Concept as a Basis for Sustainable Industrial Production, Annals of the CIRP v. 42/1, p 163- 167, 1993.
- [2] HOGAN, D. J. Crescimento Populacional e Desenvolvimento Sustentável, Nueva Sociedad , nov/dez, 1993.
- [3] LEIS, H. R., Ecologia e Política Mundial, Fase, Rio de Janeiro, 1991.
- [4] TIPNIS, V. A., Challenges in Product Strategy, Product Planning and Technology Development for Product Life Cycle Design, Annals of the CIRP, vol 43/1, p 651-658,1994.
- [5] TIPNIS, V. A., Evolving Issues in Product Life Cycle Design, Annals of the CIRP, vol 42/1, p 169-173 ,1994.
- [6] BOOTHROYD, G., ALTING L., Design for Assembly and Disassembly, Annals of the CIRP, vol 41/2, p 625-636 ,1992.
- [7] WEULE, H., Lyfe-Cicle Analysis - a Strategic Element for Future Products in Manufacturing Technologies , Annals of the CIRP v. 42/1, p 181-184, 1993.
- [8] Van der HORST, T. J. J., ZWERS, A., Environmentally Oriented Product Development: Various Approaches to Success, Proceeding of the ICED, p 739-745, 1993.
- [9] KELDMAN,T., The Environmental Part of the product concept, Proceeding of the ICED, p 1048-1053, 1995.

- [10] NAVIN-CHANDRA, D., ReStar: A Design Tool for environmental recovery analysis, Proceeding of the ICED, p 780-787, 1993.
- [11] BOR, J. M., KANT E. J. W., Milion: A Project on Design for Environment, Proceeding of the ICED, p796-803, 1993.
- [12] GRAEDEL, T. E., ALLENBY, B. R., Industrial Ecology, Prentice-Hall, New Jersey, 1995.
- [13] ZÜSSMAN, E., et all, Disassembly-Oriented Assessment Methodology to Support Design for Recycling, Annals of the CIRP v. 43/1, p 9-14, 1994.
- [14] KUUVVA, M., AIRILA, M., Design for Recycling, Proceeding of the ICED, p 804-811, 1993.
- [15] BEITZ, W., Designing for Ease of Recycling - General Approach and Industrial Application, Proceeding of the ICED, p 731-738, 1993.
- [16] ISHII, K., EUBANKS, C. F., Life-Cycle Engineering Design: Modeling and Tool Development, Proceeding of the ICED, p 882-888, 1993.
- [17] BURKE, D.S., BEITER, K., ISHII, K., Life-Cycle Design for Recyclability, DTM-Design Theory and Methodology, ASME, vol. 42, p 325-332, 1992.
- [18] BACK, N., Metodologia de Projeto de Produtos Industriais, Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1983.
- [19] JOVANE, F., et all, A Key Issue in Product Life-Cycle: Disassembly, Annals of the CIRP, vol 42/2, p 651-658, 1993.

- [20] SPATH, D., et all, Life Cycle Assessment - Tools to Support Environmental Product Design and Economical Disassembly of Technical Consumer Products, Proceeding of the ICED, p 1066-1072, 1995.
- [21] MGMT Alliances Inc. - ISO 14001 Series, <http://www.mgmt14k.com/14kseries.htm>
- [22] AutoCAD Release 13 - Manual do Usuário, by Autodesk, 1995.
- [23] AutoCAD Release 13 - Command Reference, by Autodesk, 1995.
- [24] Desenvolvimento com Borland Delphi 2.0, by Borland Interntionl Inc., 1996.
- [25] SEEGER, H. J. M., Automotive Design for Recycling in GE plastics, Proceeding of the ICED, p 812-819, 1993.
- [26] CHEN, R. W. ett all, Product Design for Reciclability: A Cost Benefit Analysis Model and its Aplications, Proceeding of the IEEE, p178-183, 1993.
- [27] BARNES, R.M., Estudo de Movimentos e de Tempos: Projeto e Medida do Trabalho, Edgar Blücher. São Paulo, 1977.
- [28] IIDA, I., Ergonomia: Projeto e Produção, Edgar Blücher. São Paulo, 1985.
- [29] ULRICH, K. T., EPPINGER, S. D., Product Design and Development, McGraw-Hill, USA, 1995.

## BIBLIOGRAFIA

CONSTANCE, J. Can Durable Goods be Designed for Disposability?, Mechanical Engineering, v.114, n.5, p 60-62, 1992.

ZÜST, R., WAGNER, R., Approach to the Identification and Quantification of Environmental Effects During Product Life, Annals of the CIRP v. 41/1, p 473-474, 1992.

WALLACE, D., SUH, N., Information-Based Design for Environmental Problem Solving, Annals of the CIRP v. 42/1, p 175-179, 1993.

THURSTON, D.L., BLAIR, A., A Method for Integrating Environmental Impacts into Product Design, Proceeding of the ICED, p 765-772, 1993. *NEC / Miguel*

OLESEN, J., KELDMANN, T., Design for Environment - A Framework, Proceeding of the ICED, p 747-754, 1993.

BAKKER, C., Ecological Information for Designers, Proceeding of the ICED, p 828-831, 1993.

TICHEM, M., Design for Manufacturing and Assembly: A Closed Loop Approach, Proceeding of the ICED, p 1033-1040, 1993.

VALENTOVIC, E., CHAL, J., A New Design for Assembly Method, Proceeding of the ICED, p 1017-1024, 1993.

HERBERTSSON, J., JOHANSSON, C., Are Design for Assembly Methods necessary in integrated product design projects?, Proceeding of the ICED, p 1097-1101, 1993.

VELDSTRA, M., BOUWS, T., Environmentally Friendly Design in Plastics, Proceeding of the ICED, p 820-827, 1993.

SIMON, M., Objective Assessment of Design for Recycling, Proceeding of the ICED, p 832-835, 1993.

ISHII, K., MUKHERJEE, K., Post Manufacturing Issues in Life-Cycle Design, DE-Design for Manufacture, ASME, vol 51, p 49-56, 1992.

CHEN, W-J., WALLACE, K. M., Manufacturing Information for Designer, Proceeding of the ICED, p 1111-1114, 1993.

EELKELS, J., The engineer as designer and as an morally responsible Individual, Proceeding of the ICED, p 755-764, 1993.

ASHLEY, S., Designing for the environment, Mechanical Engineering, v.115, n.3, p 52-55, 1993.

HOCHMAN, S.D., O'CONNELL, P. A., QFD: Using the Customer to Outperform the Competition on Environmental Design, Proceedings of the Symposium on Eletronics and the Environment, p 165-172, Arlington, Virginia, 1993.

PILLER, M., Novas Tencências do Design em CAD para o Desenvolvimento de Produtos, CAdesign, n.14, p 14-23, 1996.

DATE, C. J., Introdução a Sistemas de Banco de Dados, Campus, Rio de Janeiro, 1991.

Microsoft Access 2 for Windows: passo a passo, tradução Kátia A. Roque, São Paulo, Makron Books, 1994.

AutoCAD Release 13 - Customization Guide, by Autodesk, 1995.

YOCHIMURA, M. D. T., Computação Gráfica e Banco de Dados - Uma Aplicação em Engenharia de Produção, Trabalho de Graduação, UFSCAR, São Carlos, 1995.

MARTINS, D. D., Integração de Softwares de CAD e Apoio: AutoCAD e Access, Trabalho de Graduação, UFSCAR, São Carlos, 1995.

CASARI, N., dBase II Plus para MSX Interativo: Curso Prático, Atlas, São Paulo, 1988.

RAMALHO, J. A. A., dBase III Plus Interativo, Atlas, São Paulo, 1988.

OLIVEIRA, A. G., FRAGA, S., Manipulando Bancos de Dados com Delphi 2, Bookstore, Florianópolis, 1997.

TOLEDO, I. B., KURATOMI, S., Cronoanálise, Ityscho, São Paulo, 1997.



## **Anexo 1 - Listas de Verificação das Dificuldades de Desmontagem dos Elementos de União**

### **Lista de Verificação da Dificuldade de Desmontagem do Elemento de União**

Código da União: PFD3PS

Descrição da União: Parafuso com fenda  $d=3\text{mm}$ ,  $l=12\text{mm}$  com porca sextavada

Possibilidade de Desmontagem:	Sim X	Não		
Se não existir possibilidade de desmontagem do elemento de união, então Dificuldade de Desmontagem = 1				
Número de ferramentas necessárias:	0	1	2 X	3 ou +
Número de posições para encaixar a ferramenta no elemento de união:	+ de 3	3	2	1 X
Acionamento da ferramenta:	Manual X			Automática*
Precisão dos movimentos da mão **	sem precisão	pouco preciso X	preciso	muito preciso
Número de movimentos necessários para a desmontagem ***	1	2	3	4 ou + X
Número de vezes que a coluna foi assinalada (NV)	1 x 1	1 x2	1 x3	2 x4
Total de pontos por coluna (NV x P)	1	2	3	8
Total geral (somatório do número total de pontos obtido em cada coluna)	14			

### **Definição da Dificuldade de Desmontagem:**

Total Geral	Dificuldade de Desmontagem
5	0.2
6 a 10 pontos	0.4
11 a 15 pontos	0.6 X
16 a 20 pontos	0.8

\* a forma de acionamento automática, dificulta a montagem do posto de trabalho, pois necessita de uma fonte de energia para o acionamento.

\*\* Precisão dos movimentos da mão:

**muito preciso** - necessidade de posicionar os dedos em três ou mais pontos específicos da união para executar a desmontagem. Nesta situação, normalmente não se utiliza nenhuma ferramenta;

**preciso** - necessidade de posicionar os dedos em dois pontos específicos do elemento de união;

**pouco preciso** - necessidade de posicionar os dedos em um ponto específico do elemento de união;

**sem precisão** - a mão é utilizada apenas para manipular a ferramenta.

\*\*\* movimentos de desmontagem: encaixar, girar, apertar, empurrar, puxar, soltar.

## Lista de Verificação da Dificuldade de Desmontagem do Elemento de União

Código da União: PRE02X4

Descrição da União: 04 presilhas moldadas em objeto pequeno (polímero)

Possibilidade de Desmontagem:	Sim X	Não
-------------------------------	-------	-----

Se não existir possibilidade de desmontagem do elemento de união, então Dificuldade de Desmontagem = 1

Número de ferramentas necessárias:	0 X	1	2	3 ou +
Número de posições para encaixar a ferramenta no elemento de união:	+ de 3	3	2	1 X
Acionamento da ferramenta:	Manual			Automática*
Precisão dos movimentos da mão **	sem precisão	pouco preciso	preciso	muito preciso X
Número de movimentos necessários para a desmontagem ***	1	2	3	4 ou + X
Número de vezes que a coluna foi assinalada (NV)	1 x 1	0 x 2	0 x 3	2 x 4
Total de pontos por coluna (NV x P)	1	0	0	8
Total geral (somatório do número total de pontos obtido em cada coluna)	9			

### Definição da Dificuldade de Desmontagem:

Total Geral	Dificuldade de Desmontagem
5	0.2
6 a 10 pontos	0.4 X
11 a 15 pontos	0.6
16 a 20 pontos	0.8

\* a forma de acionamento automática, dificulta a montagem do posto de trabalho, pois necessita de uma fonte de energia para o acionamento.

\*\* Precisão dos movimentos da mão:

**muito preciso** - necessidade de posicionar os dedos em três ou mais pontos específicos da união para executar a desmontagem. Nesta situação, normalmente não se utiliza nenhuma ferramenta;

**preciso** - necessidade de posicionar os dedos em dois pontos específicos do elemento de união;

**pouco preciso** - necessidade de posicionar os dedos em um ponto específico do elemento de união;

**sem precisão** - a mão é utilizada apenas para manipular a ferramenta.

\*\*\* movimentos de desmontagem: encaixar, girar, apertar, empurrar, puxar, soltar.

## Lista de Verificação da Dificuldade de Desmontagem do Elemento de União

Código da União: PRE01X3

Descrição da União: 03 presilhas moldadas em objeto pequeno (polímero)

Possibilidade de Desmontagem:	Sim X	Não
-------------------------------	-------	-----

Se não existir possibilidade de desmontagem do elemento de união, então **Dificuldade de Desmontagem = 1**

Número de ferramentas necessárias:	0 X	1	2	3 ou +
Número de posições para encaixar a ferramenta no elemento de união:	+ de 3	3	2	1 X
Acionamento da ferramenta:	Manual			Automática*
Precisão dos movimentos da mão **	sem precisão	pouco preciso	preciso	muito preciso X
Número de movimentos necessários para a desmontagem ***	1	2	3	4 ou + X
Número de vezes que a coluna foi assinalada (NV)	1 x 1	0 x 2	0 x 3	2 x 4
Total de pontos por coluna (NV x P)	1	0	0	8
Total geral (somatório do número total de pontos obtido em cada coluna)	9			

### Definição da Dificuldade de Desmontagem:

Total Geral	Dificuldade de Desmontagem
5	0.2
6 a 10 pontos	0.4 X
11 a 15 pontos	0.6
16 a 20 pontos	0.8

\* a forma de acionamento automática, dificulta a montagem do posto de trabalho, pois necessita de uma fonte de energia para o acionamento.

\*\* Precisão dos movimentos da mão:

**muito preciso** - necessidade de posicionar os dedos em três ou mais pontos específicos da união para executar a desmontagem. Nesta situação, normalmente não se utiliza nenhuma ferramenta;

**preciso** - necessidade de posicionar os dedos em dois pontos específicos do elemento de união;

**pouco preciso** - necessidade de posicionar os dedos em um ponto específico do elemento de união;

**sem precisão** - a mão é utilizada apenas para manipular a ferramenta.

\*\*\* movimentos de desmontagem: encaixar, girar, apertar, empurrar, puxar, soltar.

## Lista de Verificação da Dificuldade de Desmontagem do Elemento de União

Código da União: PPD3L8

Descrição da União: Parafuso Phillips com  $d=3$  mm,  $l=8$  mm

Possibilidade de Desmontagem:	Sim X	Não
-------------------------------	-------	-----

Se não existir possibilidade de desmontagem do elemento de união, então Dificuldade de Desmontagem = 1

Número de ferramentas necessárias:	0	1 X	2	3 ou +
Número de posições para encaixar a ferramenta no elemento de união:	+ de 3	3	2 X	1
Acionamento da ferramenta:	Manual X			Automática*
Precisão dos movimentos da mão **	sem precisão X	pouco preciso	preciso	muito preciso
Número de movimentos necessários para a desmontagem ***	1	2	3 X	4 ou +
Número de vezes que a coluna foi assinalada (NV)	2 x 1	1 x 2	2 x 3	0 x 4
Total de pontos por coluna (NV x P)	2	2	6	0
Total geral (somatório do número total de pontos obtido em cada coluna)	10			

### Definição da Dificuldade de Desmontagem:

Total Geral	Dificuldade de Desmontagem
5	0.2
6 a 10 pontos	0.4 X
11 a 15 pontos	0.6
16 a 20 pontos	0.8

\* a forma de acionamento automática, dificulta a montagem do posto de trabalho, pois necessita de uma fonte de energia para o acionamento.

\*\* Precisão dos movimentos da mão:

**muito preciso** - necessidade de posicionar os dedos em três ou mais pontos específicos da união para executar a desmontagem. Nesta situação, normalmente não se utiliza nenhuma ferramenta;

**preciso** - necessidade de posicionar os dedos em dois pontos específicos do elemento de união;

**pouco preciso** - necessidade de posicionar os dedos em um ponto específico do elemento de união;

**sem precisão** - a mão é utilizada apenas para manipular a ferramenta.

\*\*\* movimentos de desmontagem: encaixar, girar, apertar, empurrar, puxar, soltar.

## Lista de Verificação da Dificuldade de Desmontagem do Elemento de União

Código da União: ABRPLA23

Descrição da União: Abraçadeira plástica l=23mm

Possibilidade de Desmontagem:	Sim X	Não
-------------------------------	-------	-----

Se não existir possibilidade de desmontagem do elemento de união, então Dificuldade de Desmontagem = 1

Número de ferramentas necessárias:	0	1 X	2	3 ou +
Número de posições para encaixar a ferramenta no elemento de união:	+ de 3	3	2	1 X
Acionamento da ferramenta:	Manual X			Automática*
Precisão dos movimentos da mão **	sem precisão	pouco preciso	preciso  X	muito preciso
Número de movimentos necessários para a desmontagem ***	1	2 X	3	4 ou +
Número de vezes que a coluna foi assinalada (NV)	1 x 1	2 x 2	1 x 3	1 x 4
Total de pontos por coluna (NV x P)	1	4	3	4
Total geral (somatório do número total de pontos obtido em cada coluna)	12			

### Definição da Dificuldade de Desmontagem:

Total Geral	Dificuldade de Desmontagem
5	0.2
6 a 10 pontos	0.4
11 a 15 pontos	0.6 X
16 a 20 pontos	0.8

\* a forma de acionamento automática, dificulta a montagem do posto de trabalho, pois necessita de uma fonte de energia para o acionamento.

\*\* Precisão dos movimentos da mão:

**muito preciso** - necessidade de posicionar os dedos em três ou mais pontos específicos da união para executar a desmontagem. Nesta situação, normalmente não se utiliza nenhuma ferramenta;

**preciso** - necessidade de posicionar os dedos em dois pontos específicos do elemento de união;

**pouco preciso** - necessidade de posicionar os dedos em um ponto específico do elemento de união;

**sem precisão** - a mão é utilizada apenas para manipular a ferramenta.

\*\*\* movimentos de desmontagem: encaixar, girar, apertar, empurrar, puxar, soltar.

## Lista de Verificação da Dificuldade de Desmontagem do Elemento de União

Código da União: RCD12PS

Descrição da União: Rosca moldada no corpo do objeto d=12mm, l=6mm c/ porca sext.

Possibilidade de Desmontagem:	Sim X	Não
-------------------------------	-------	-----

Se não existir possibilidade de desmontagem do elemento de união, então Dificuldade de Desmontagem = 1

Número de ferramentas necessárias:	0	1 X	2	3 ou +
Número de posições para encaixar a ferramenta no elemento de união:	+ de 3	3 X	2	1
Acionamento da ferramenta:	Manual X			Automática*
Precisão dos movimentos da mão **	sem precisão	pouco preciso X	preciso	muito preciso
Número de movimentos necessários para a desmontagem ***	1	2	3	4 ou + X
Número de vezes que a coluna foi assinalada (NV)	1 x 1	3 x 2	0 x 3	1 x 4
Total de pontos por coluna (NV x P)	1	6	0	4
Total geral (somatório do número total de pontos obtido em cada coluna)	11			

### Definição da Dificuldade de Desmontagem:

Total Geral	Dificuldade de Desmontagem
5	0.2
6 a 10 pontos	0.4
11 a 15 pontos	0.6 X
16 a 20 pontos	0.8

\* a forma de acionamento automática, dificulta a montagem do posto de trabalho, pois necessita de uma fonte de energia para o acionamento.

\*\* Precisão dos movimentos da mão:

**muito preciso** - necessidade de posicionar os dedos em três ou mais pontos específicos da união para executar a desmontagem. Nesta situação, normalmente não se utiliza nenhuma ferramenta;

**preciso** - necessidade de posicionar os dedos em dois pontos específicos do elemento de união;

**pouco preciso** - necessidade de posicionar os dedos em um ponto específico do elemento de união;

**sem precisão** - a mão é utilizada apenas para manipular a ferramenta.

\*\*\* movimentos de desmontagem: encaixar, girar, apertar, empurrar, puxar, soltar.

## Lista de Verificação da Dificuldade de Desmontagem do Elemento de União

Código da União: REBD4

Descrição da União: Rebite d=4mm, l=8mm

Possibilidade de Desmontagem:	Sim X	Não
-------------------------------	-------	-----

Se não existir possibilidade de desmontagem do elemento de união, então Dificuldade de Desmontagem = 1

Número de ferramentas necessárias:	0	1 X	2	3 ou +
Número de posições para encaixar a ferramenta no elemento de união:	+ de 3 X	3	2	1
Acionamento da ferramenta:	Manual			Automática* X
Precisão dos movimentos da mão **	sem precisão	pouco preciso	preciso  X	muito preciso
Número de movimentos necessários para a desmontagem ***	1	2	3 X	4 ou +
Número de vezes que a coluna foi assinalada (NV)	1 x 1	1 x 2	2 x 3	1 x 4
Total de pontos por coluna (NV x P)	1	2	6	4
Total geral (somatório do número total de pontos obtido em cada coluna)	11			

### Definição da Dificuldade de Desmontagem:

Total Geral	Dificuldade de Desmontagem
5	0.2
6 a 10 pontos	0.4
11 a 15 pontos	0.6 X
16 a 20 pontos	0.8

\* a forma de acionamento automática, dificulta a montagem do posto de trabalho, pois necessita de uma fonte de energia para o acionamento.

\*\* Precisão dos movimentos da mão:

**muito preciso** - necessidade de posicionar os dedos em três ou mais pontos específicos da união para executar a desmontagem. Nesta situação, normalmente não se utiliza nenhuma ferramenta;

**preciso** - necessidade de posicionar os dedos em dois pontos específicos do elemento de união;

**pouco preciso** - necessidade de posicionar os dedos em um ponto específico do elemento de união;

**sem precisão** - a mão é utilizada apenas para manipular a ferramenta.

\*\*\* movimentos de desmontagem: encaixar, girar, apertar, empurrar, puxar, soltar.



## Lista de Verificação da Dificuldade de Desmontagem do Elemento de União

Código da União: PFD4PS

Descrição da União: Parafuso com fenda  $d=4\text{mm}$ ,  $l=4.5\text{mm}$  com porca sextavada

Possibilidade de Desmontagem:	Sim X	Não
-------------------------------	-------	-----

Se não existir possibilidade de desmontagem do elemento de união, então **Dificuldade de Desmontagem = 1**

Número de ferramentas necessárias:	0	1	2 X	3 ou +
Número de posições para encaixar a ferramenta no elemento de união:	+ de 3	3	2	1 X
Acionamento da ferramenta:	Manual X			Automática*
Precisão dos movimentos da mão **	sem precisão	pouco preciso X	preciso	muito preciso
Número de movimentos necessários para a desmontagem ***	1	2	3	4 ou + X
Número de vezes que a coluna foi assinalada (NV)	1 x 1	1 x 2	1 x 3	2 x 4
Total de pontos por coluna (NV x P)	1	2	3	8
Total geral (somatório do número total de pontos obtido em cada coluna)	14			

### Definição da Dificuldade de Desmontagem:

Total Geral	Dificuldade de Desmontagem
5	0.2
6 a 10 pontos	0.4
11 a 15 pontos	0.6 X
16 a 20 pontos	0.8

\* a forma de acionamento automática, dificulta a montagem do posto de trabalho, pois necessita de uma fonte de energia para o acionamento.

\*\* Precisão dos movimentos da mão:

**muito preciso** - necessidade de posicionar os dedos em três ou mais pontos específicos da união para executar a desmontagem. Nesta situação, normalmente não se utiliza nenhuma ferramenta;

**preciso** - necessidade de posicionar os dedos em dois pontos específicos do elemento de união;

**pouco preciso** - necessidade de posicionar os dedos em um ponto específico do elemento de união;

**sem precisão** - a mão é utilizada apenas para manipular a ferramenta.

\*\*\* movimentos de desmontagem: encaixar, girar, apertar, empurrar

**Obs:** com duas ferramentas, considera-se a pior delas.

## Lista de Verificação da Dificuldade de Desmontagem do Elemento de União

Código da União: PFD4.5PS

Descrição da União: Parafuso com fenda  $d=4.5\text{mm}$ ,  $l=50\text{mm}$  com porca sextavada

Possibilidade de Desmontagem:	Sim X	Não
-------------------------------	-------	-----

Se não existir possibilidade de desmontagem do elemento de união, então Dificuldade de Desmontagem = 1

Número de ferramentas necessárias:	0	1	2 X	3 ou +
Número de posições para encaixar a ferramenta no elemento de união:	+ de 3	3	2	1 X
Acionamento da ferramenta:	Manual X			Automática*
Precisão dos movimentos da mão **	sem precisão	pouco preciso X	preciso	muito preciso
Número de movimentos necessários para a desmontagem ***	1	2	3	4 ou + X
Número de vezes que a coluna foi assinalada (NV)	1 x 1	1 x 2	1 x 3	2 x 4
Total de pontos por coluna (NV x P)	1	2	3	8
Total geral (somatório do número total de pontos obtido em cada coluna)	14			

### Definição da Dificuldade de Desmontagem:

Total Geral	Dificuldade de Desmontagem
5	0.2
6 a 10 pontos	0.4
11 a 15 pontos	0.6 X
16 a 20 pontos	0.8

\* a forma de acionamento automática, dificulta a montagem do posto de trabalho, pois necessita de uma fonte de energia para o acionamento.

\*\* Precisão dos movimentos da mão:

**muito preciso** - necessidade de posicionar os dedos em três ou mais pontos específicos da união para executar a desmontagem. Nesta situação, normalmente não se utiliza nenhuma ferramenta;

**preciso** - necessidade de posicionar os dedos em dois pontos específicos do elemento de união;

**pouco preciso** - necessidade de posicionar os dedos em um ponto específico do elemento de união;

**sem precisão** - a mão é utilizada apenas para manipular a ferramenta.

\*\*\* movimentos de desmontagem: encaixar, girar, apertar, empurrar

Obs: com duas ferramentas, considera-se a pior delas.

## Lista de Verificação da Dificuldade de Desmontagem do Elemento de União

Código da União: PIPLD3.5

Descrição da União: Pino plástico d=3.5mm, l=12mm com cabeça redonda

Possibilidade de Desmontagem:	Sim X	Não
-------------------------------	-------	-----

Se não existir possibilidade de desmontagem do elemento de união, então Dificuldade de Desmontagem = 1

Número de ferramentas necessárias:	0	1 X	2	3 ou +
Número de posições para encaixar a ferramenta no elemento de união:	+ de 3 X	3	2	1
Acionamento da ferramenta:	Manual X			Automática*
Precisão dos movimentos da mão **	sem precisão	pouco preciso	preciso  X	muito preciso
Número de movimentos necessários para a desmontagem ***	1	2	3	4 ou + X
Número de vezes que a coluna foi assinalada (NV)	2 x 1	1 x 2	1 x 3	1 x 4
Total de pontos por coluna (NV x P)	1	2	3	4
Total geral (somatório do número total de pontos obtido em cada coluna)	11			

### Definição da Dificuldade de Desmontagem:

Total Geral	Dificuldade de Desmontagem
5	0.2
6 a 10 pontos	0.4
11 a 15 pontos	0.6 X
16 a 20 pontos	0.8

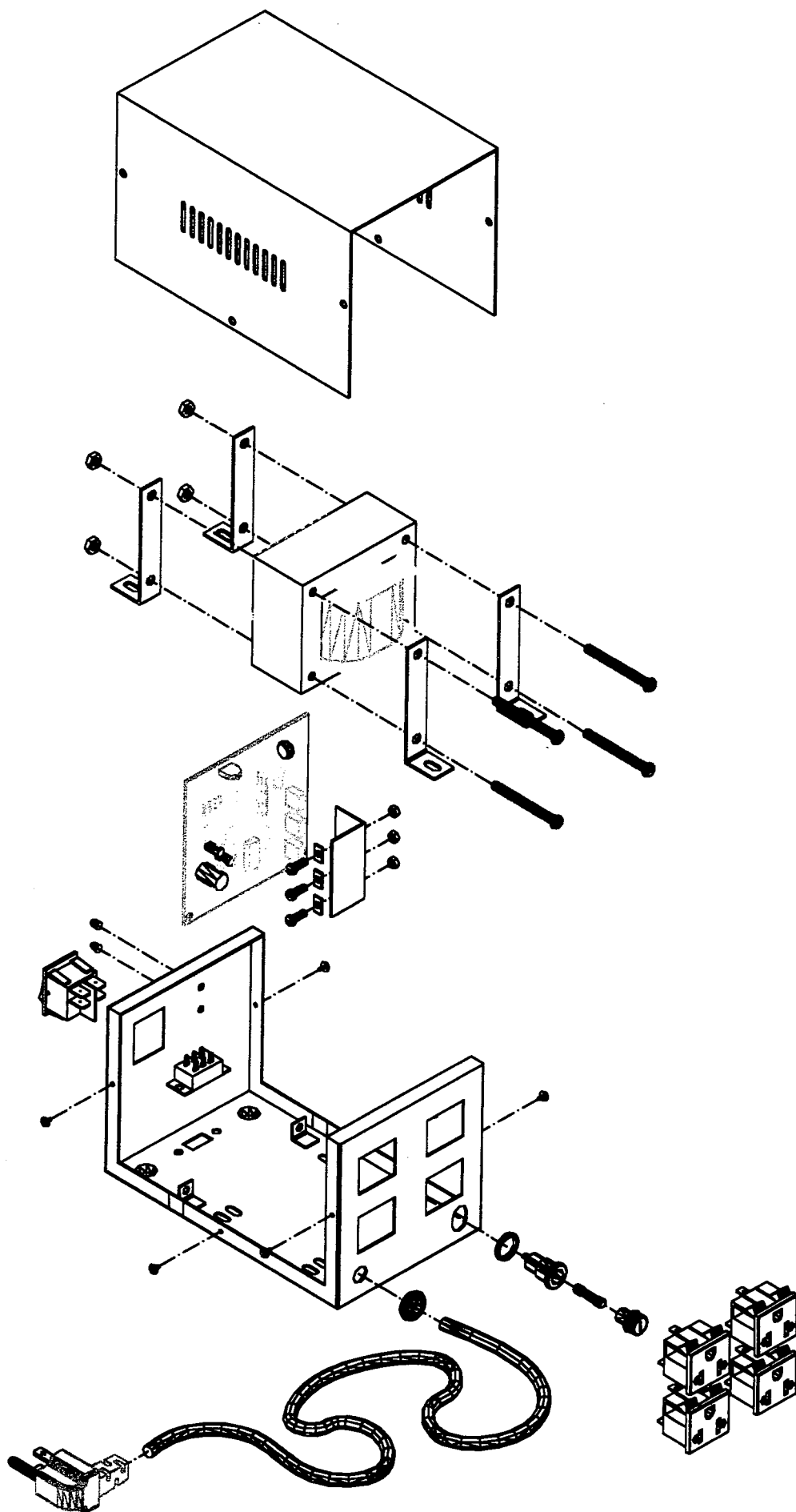
\* a forma de acionamento automática, dificulta a montagem do posto de trabalho, pois necessita de uma fonte de energia para o acionamento.

\*\* Precisão dos movimentos da mão:

**muito preciso** - necessidade de posicionar os dedos em três ou mais pontos específicos da união para executar a desmontagem. Nesta situação, normalmente não se utiliza nenhuma ferramenta;  
**preciso** - necessidade de posicionar os dedos em dois pontos específicos do elemento de união;  
**pouco preciso** - necessidade de posicionar os dedos em um ponto específico do elemento de união;  
**sem precisão** - a mão é utilizada apenas para manipular a ferramenta.

\*\*\* movimentos de desmontagem: encaixar, girar, apertar, empurrar

## **Anexo 2 - Representação do Produto A**



### **Anexo 3 - Acesso ao Banco de Dados através do AutoCAD**

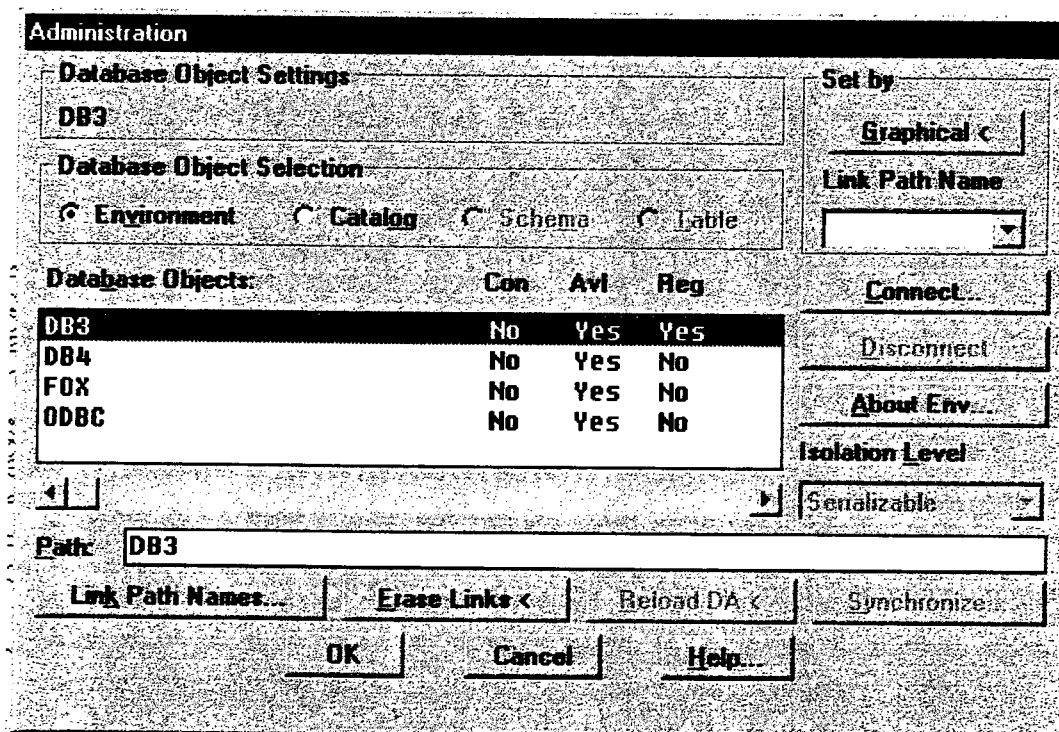
## COMO LIGAR UM ARQUIVO DE PROJETO AO BANCO DE DADOS UTILIZANDO O AutoCAD.

### Parte 1: CONEXÃO

1. Fazer o desenho do produto em três dimensões. (Para uma melhor visualização desenhe cada componente em layer com cores diferentes).
2. Através do menu **TOOLS**, selecione **Toolbars** e depois **EXTERNAL DATABASE**, será aberta uma barra de ferramentas como está mostrada a seguir:



3. Acione o ícone **ASEADMIN** e será aberta a caixa de diálogo como a que está mostrada seguir:



4. Selecione o ambiente de banco de dados a ser utilizado (DB3), clicando sobre a linha que apresenta o ambiente desejado.
5. Pressione o botão **Connect** e será aberta uma caixa de diálogo solicitando o nome do usuário e a senha. Pressione **OK** ou tecele **Enter** e a conexão com o banco de dados será estabelecida, retornando para a caixa de diálogo **ADMINISTRATION**.

6. Pressione o botão **Catalog** e aparecerá em **Database Objects** a opção **ASE**, selecione-a.

7. Pressione o botão **Schema** e aparecerá em **Database Objects** a opção **3DSAMPLE**, selecione-a.

8. Pressione o botão **Table** e em **Database Objects** serão mostradas as tabelas disponíveis, selecione a tabela a ser utilizada para vinculação dos dados.

9. Após a seleção da tabela pressione o botão **Link Path Names** e será aberta a caixa de diálogo como está mostrada a seguir:

**Link Path Names**

**Database Object Settings**  
DB3 ASE DB3SAMPLE PROJETO

**Key Selection**

State	Column	Data Type	
On	COD PROJ	CHARACTER(10) CHARACTER SET	On
	COD_COMP	CHARACTER(10) CHARACTER SET	On
	HIERARQ	DECIMAL(2)	Off
	IND GEOM	DECIMAL(1,1)	Off

**Link Path**

**New:**  **New** **Rename**

**Existing:**  **Erase** **Erase All**

**Close** **Help...**

10. Selecione o elemento que define a chave para o banco de dados, clicando sobre a sua definição e pressione **ON** e a opção **NEW** será ativada.

10.1. Em **NEW** digite o nome do caminho (isto serve para registrar os dados no banco de dados). a opção **Existing** apresenta caminhos que foram definidos anteriormente.

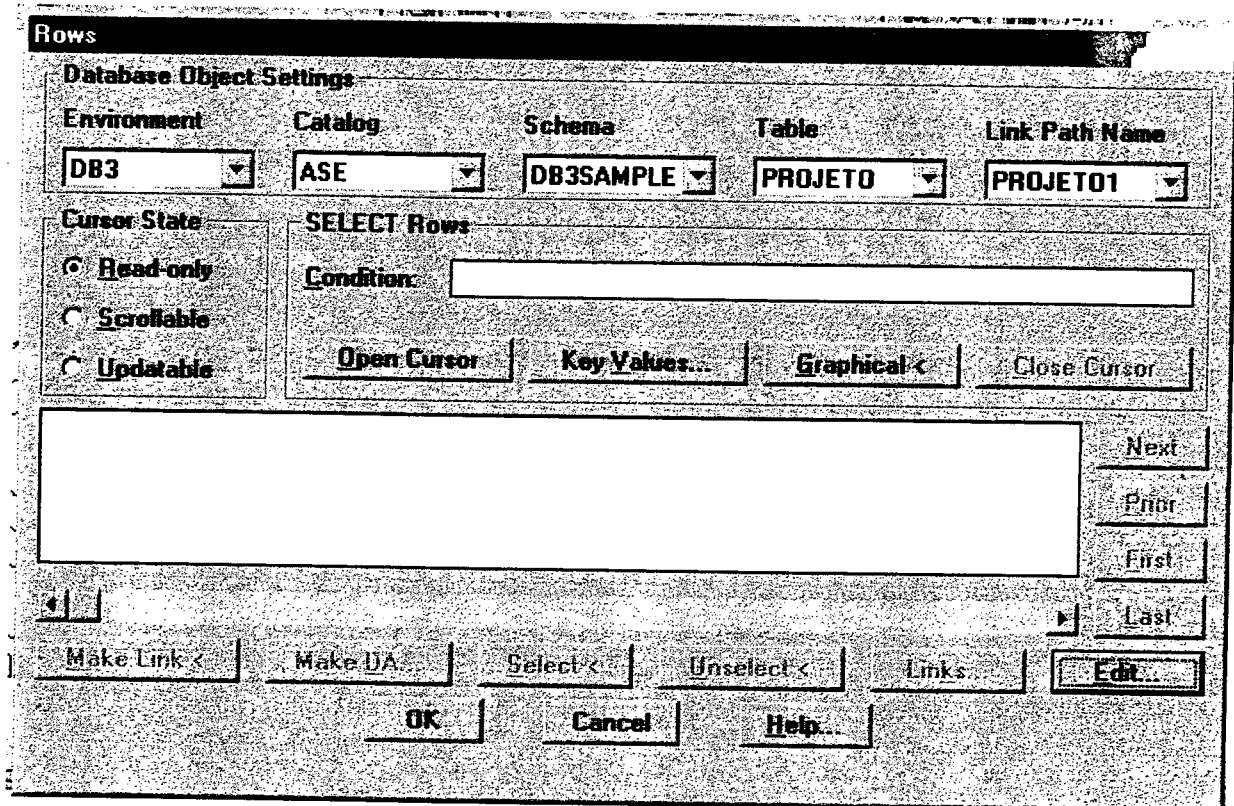
10.2. Pressione **Close** para fechar a caixa de diálogo.

11. Pressione **OK** para fechar a caixa de diálogo **ADMISTRATION**.



## Parte 2: VINCULAÇÃO

1. Na barra de ferramentas **External Database** acione o ícone **Rows** para editar a base de dados e será aberta a caixa de diálogo como está mostrado a seguir:



2. Em **Link Path Name** selecione o nome definido no passo 10.

3. Pressione o botão **Edit** e será aberta a caixa de diálogo **Edit Row** mostrada a seguir:

**Edit Row**

**SELECT Statement:**

COD_PROJ	
COD_COMP	
HIERARQ	
IND_GEOM	
DIR_DESM	
SENT_DESM	

**Name:** COD\_PROJ

**Value:**

Update Insert Delete

Close Help...

4. Selecione cada item apresentado e em **Value** atribua os valores correspondente a cada um e pressione **Enter** e os valores serão atualizados.

4.1. Após definir todos os valores acione o botão **Insert** para atualizar os dados no banco de dados. No rodapé da caixa de diálogo aparecerá a mensagem:

**Row is inserted**

5. Adicione as linhas necessárias ( cada linha inserida corresponde a um registro do banco de dados)

6. Para ligar as linhas da tabela (banco de dados) ao componentes desenhados, selecione a linha correspondente aos atributos e pressione o botão **Make Link**. Na linha de comando será apresentada a seguinte mensagem:

*Select object:*

6.1. Selecione o objeto correspondente e pressione **Enter** para retornar a caixa de diálogo.

6.2. Repita esse passo até vincular todos os objetos.

**Atenção:** um objeto pode ser vinculado a mais de uma linha do banco de dados e vice-versa.

## **Anexo 4 - Representação do Produto B**

